

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-172341

(43)Date of publication of application : 23.06.2000

(51)Int.Cl.

G05D 3/12

G05B 11/32

H02P 5/00

(21)Application number : 10-351833

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 10.12.1998

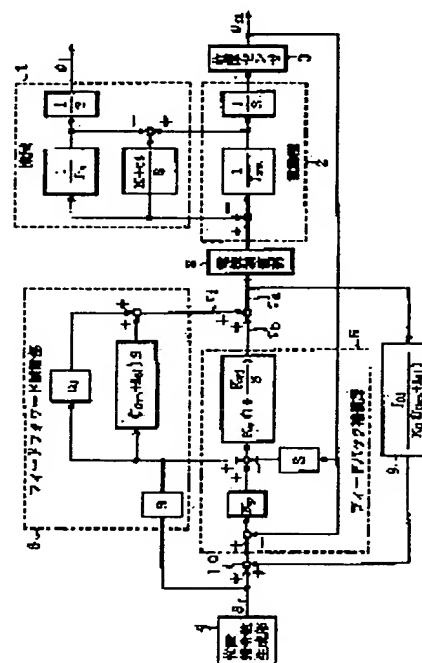
(72)Inventor : IWASAKI TAKASHI

## (54) SERVO CONTROLLER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a servo controller which can highly precisely control a position, has simple constitution, whose calculation time is little, and which is robust against the fluctuation of a parameter and an estimated error.

**SOLUTION:** A servo controller is formed of a position sensor 3 added to an electric motor 2 operating a machine 1, a position command value generation part 4 generating the operation track of the machine, a feedback compensation part 5 generating a feedback torque command value, a feed forward compensation part 6 generating a feed forward torque command value, a current compensation part 8 making appropriate current flow to the electric motor based on a whole torque command value obtained by adding them, a machine terminal correction constant multiplication part 9 multiplying a torque which the electric motor generates by a prescribed value, an adder 10 adding the whole torque command value which is multiplied by the prescribed value to the position command value.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

11.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3621278

[Date of registration]

26.11.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The motor which it is attached [ motor ] in the machine which operates a predetermined locus top, and a location command value is followed [ motor ], and operates the machine concerned, The position sensor which is attached in said motor and performs location detection of the motor concerned, The location command value generation section which generates said location command value for said machine operating a predetermined locus top, The feedback compensation section which generates the feedback torque command value equivalent to torque or it based on the location command value generated in said location command value generation section, and the position feedback value from said position sensor, The feedforward compensation section which generates the feedforward torque command value which is equivalent to torque or it from said location command value based on the model of said machine and said motor, The current compensation section which passes the suitable current for said motor based on the desired value equivalent to the torque or it adding said feedback torque command value and said feedforward torque command value, the signal equivalent to the torque or it which said motor generates -- constant twice -- with the machine edge amendment constant multiplication section to carry out said machine edge amendment constant multiplication section -- constant twice -- the servo control equipped with the adder which adds the signal equivalent to the torque or it which was carried out, and which said motor generates to the location command value which said location command value generation section generated.

[Claim 2] The servo control according to claim 1 characterized by making desired value equivalent to the torque or it adding the feedback torque command value which the feedback compensation section generates, and the feedforward torque command value which the feedforward compensation section generates into the signal equivalent to the torque which a motor generates.

[Claim 3] The servo control according to claim 1 characterized by having had the current sensor which measures the current which flows to a motor, and making the amperometry value by the current sensor concerned into the signal equivalent to the torque which said motor generates.

[Claim 4] The servo control according to claim 1 characterized by making the feedforward torque command value which the feedforward compensation section generates into the signal equivalent to the torque which a motor generates.

[Claim 5] The servo control according to claim 4 characterized by including a friction model as a model of a machine and a motor.

[Claim 6] The servo control according to claim 5 characterized by not including the torque command

value generated from the fricative model in the signal equivalent to the torque which a motor generates.

[Claim 7] A machine and a motor The inertia of said machine, and the inertia of said motor, The parameter which shows the value of the load rate of said machine at the time of making a model with a spring in the meantime, The parameter input section which inputs the parameter for computing the ratio of the inertia of said machine, and the sum of said two inertia, It is based on said each parameter inputted from said parameter input section. A servo control given [ of claim 1 to the claims 6 characterized by preparing the constant count section set as the machine edge amendment constant multiplication section in quest of the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which said motor generates ] in any 1 term.

[Claim 8] Based on the signal equivalent to the torque which a motor with a working machine generates, and the position feedback value from a position sensor The inertia identification section which identifies the sum of the inertia of said motor and the inertia of a machine is prepared. The parameter input section as a parameter The sum of the inertia of said motor and the inertia of a machine as which the value of the load rate of said machine and the inertia of said motor are inputted and which the constant count section was identified in said inertia identification section, The servo control according to claim 7 characterized by being what calculates the value of the constant which carries out multiplication to the signal which is equivalent to the torque which said motor generates based on the parameter inputted from said parameter input section.

[Claim 9] The signal equivalent to the torque which a motor with a working machine generates, and the parameter which identifies a machine model and shows the value of the load rate of said machine based on the position feedback value from a position sensor, The machine-model identification section which asks for the parameter for computing the ratio of the sum of the inertia of the inertia of said machine, said machine, and each of said motor, It is based on the parameter for which said machine-model identification section asked. A servo control given [ of claim 1 to the claims 6 characterized by preparing the constant count section set as the machine edge amendment constant multiplication section in quest of the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which said motor generates ] in any 1 term.

[Claim 10] The M sequence signal generator which generates the signal containing the high frequency component more than resonance frequency, The switch for adding the signal which said M sequence signal generator generated to the signal equivalent to the torque which a motor with a working machine generates, only when identifying a machine model is formed. The signal with which the machine-model identification section is equivalent to the torque which said motor with which the signal which said M sequence signal generator generated was added generates, The servo control according to claim 9 characterized by being what identifies said machine model and asks for the sum of said resonance frequency and an antiresonance cycle, and the inertia of a machine and the inertia of a motor as a parameter based on the position feedback value from a position sensor.

[Claim 11] A machine and a motor The inertia of said machine, and the inertia of said motor, The parameter input section which inputs the parameter for computing the ratio of the inertia of said machine, and the sum of said two inertia, The load-rate setting-out section which sets up the parameter which shows the value of the load rate of said machine according to a location command value or a position feedback value, It is based on said each parameter inputted from said parameter input section and the load-rate setting-out section. A servo control given [ of claim 1 to the claims 6 characterized by preparing the constant count section set as the machine edge amendment constant multiplication section in quest of the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which said motor generates ] in any 1 term.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the servo control with which high-speed actuation is demanded especially about a servo control like a machine tool which operates a machine with a motor and operates the locus of that machine to high degree of accuracy.

[0002]

[Description of the Prior Art] It was considered that it was the object to make a machine follow a command value and to operate accuracy, and the servo control was controlled to the machine side by aiming at making the output of position sensors, such as an encoder usually attached in actuators, such as a motor, follow a command value in many cases. However, high-speed operation may follow on being required, it may originate in the rigidity of a machine being imperfection, and gap may arise in the location of an actuator the machine side which is a actual target.

[0003] Drawing 11 is the block diagram which was shown in JP,4-271290,A and in which showing the configuration of the conventional servo control. In drawing, 1 is a machine, 2 is a motor, each, the block showing the property is shown in the interior, and these are the expressions at the time of modeling a machine 1 and a motor 2 with two inertia and the spring of those. Moreover, for 3, as for the location command value generation section and 5, a position sensor and 4 are [ the feedback compensation section and 6 ] the feedforward compensation sections, and 7 is the machine edge amendment section.

[0004] Moreover, thetar The location command value and thetal which were generated in the location command value generation section 4 The location of a machine 1, thetam The location of a motor 2, and JI The inertia of a machine 1, and Jm Inertia of a motor 2, The load rate to which K expresses the rigidity of a machine 1, the constant as which c expresses the viscous drag of a machine 1, Kv Rate loop-formation proportional gain and Kvi are rate loop-formation integral gain and Kp. Location loop-formation proportional gain, J0I. is the inertia JI of a machine 1. Estimate and J0m are the inertia Jm of a motor 2. The parameter of the machine edge amendment section 7 and s of estimate, and alpha and beta are Laplace operators, respectively.

[0005] Next, actuation is explained. The controlled system which consists of a machine 1 and a motor 2 considers the command value of the output torque of a motor 2 as an input, and considers as an output the detection value which the position sensor 3 attached in the motor 2 detected. The feedback compensation section 5 is location command value thetar generated in the location command value generation section 4. Location thetam of the motor 2 outputted from a position sensor 3 PID (proportion, integral, and differential) control is performed based on a difference. However, at the feedback compensation section 5 shown in drawing, it is location command value thetar. Location thetam of a motor 2 Although it has the composition of having used each differential value, this serves as a configuration of the above-mentioned PID control by carrying out equivalent transformation.

[0006] Thus, when the machine 1 and motor 2 which are a controlled system are controlled only by

the feedback compensation section 5, it is location command value  $\theta_{tar}$  because of the delay of a response. Flattery precision is not good. then, the feedforward compensation section 6 -- adding --  $J_0 I = J_l$  and  $J_0 m = J_m$  -- by carrying out, the rigidity of a motor 2 and a machine 1 is high enough (load-rate  $K$  is large enough) -- \*\* -- when it carries out, the delay of a response can be abolished and highly precise actuation can be realized.

[0007] However, when it cannot be considered that the rigidity of a machine 1 and a motor 2 is sufficiently high, it is location  $\theta_{tam}$  of a motor 2. Location  $\theta_{tal}$  of a machine 1 A gap arises and precision sufficient in addition of this feedforward compensator 5 is not acquired. Then, it sets in the machine edge amendment section 7, and is  $\alpha = J_l / (K (J_l + J_m))$ ,  $\beta = J_m$  Two inertia  $J_l$  which is a machine 1 and the model of a consideration 2 by carrying out and assuming that it is  $c = 0$ , and  $J_m$  The property of the model of the spring can be compensated thoroughly. Namely, location command value  $\theta_{tar}$  Location  $\theta_{tal}$  of a machine 1 It can be made thoroughly in agreement and position control of the highly precise machine 1 can be realized.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Since it is constituted as mentioned above, the conventional servo control is two inertia  $J_l$  and  $J_m$ . And each value of rigid load-rate  $K$  of a machine 1 needed to be got to know to accuracy, when the accuracy of those values was inadequate, the property of a control system was changed sharply, and the technical problem that position control with a high precision was unrealizable occurred. Moreover, amendment was complicated, there was also much computation time and the technical problem that it was easy to be influenced of a quantization error etc. since high order differential is needed also occurred.

[0009] Furthermore, not each value of two inertia  $J_l$ ,  $J_m$ , and rigid load-rate  $K$  of a machine 1 but the value of the parameters  $\alpha$  and  $\beta$  of the machine edge amendment section 7 needed to be inputted, and they all had the technical problem which needed to be set up by the help.

[0010] Moreover, the technical problem that the value of load-rate  $K$  showing the rigidity of a machine 1 could not respond to the phenomenon of changing depending on the location of a machine 1 occurred.

[0011] It was made in order that this invention might solve the above technical problems, and it is highly precise, and even when there are fluctuation and the presumed error of a parameter further, a property aims [ position control can be performed, and there is also little computation time with an easy configuration, and ] at obtaining the robust servo control which is not changed sharply.

[0012] Moreover, by inputting what it is easy to understand as a parameter, this invention can realize position control of high degree of accuracy, and aims at obtaining the servo control which can tune up a parameter automatically at the time of initialization and parameter fluctuation.

[0013]

[Means for Solving the Problem] the signal equivalent to the torque which the servo control concerning this invention controls the torque which a motor generates by performing feedback control and feedforward control based on the location command value outputted from the location command value generation section, and that motor generates, or the torque concerned -- constant twice -- it carries out and is made to add to a location command value

[0014] Moreover, the desired value equivalent to the torque or it which added the feedback torque command value which the feedback compensation section generates, and the feedforward torque command value which the feedforward compensation section generates as a signal equivalent to the torque which a motor generates is used for the servo control concerning this invention.

[0015] Moreover, the measured value of the current sensor which measures the current which flows to a motor as a signal equivalent to the torque which a motor generates is used for the servo control concerning this invention.

[0016] Moreover, the feedforward torque command value which the feedforward compensation section generates is used for the servo control concerning this invention as a signal equivalent to the torque which a motor generates.

[0017] Moreover, the servo control concerning this invention contains the model of friction of the model of a machine and a motor.

[0018] Moreover, it is made for the servo control concerning this invention not to include the torque command value generated from the friction model in the signal equivalent to the torque which a motor generates.

[0019] The servo control concerning this invention a motor and a machine Moreover, a machine and inertia of each motor, The parameter which shows the value of the load rate of the machine at the time of making a model with a spring in the meantime, The parameter for computing the ratio of the inertia of a machine and the sum of the two above-mentioned inertia is inputted from the parameter input section. The value of the constant by which multiplication is carried out to the signal equivalent to the torque which a motor generates in the machine edge amendment constant multiplication section is determined based on the parameter into which it was inputted from the parameter input section in the constant count section.

[0020] Moreover, the signal equivalent to the torque which the servo control concerning this invention prepares the inertia identification section, and a motor with a working machine generates, Based on a position feedback value, the sum of two inertia, a machine and a motor, is identified and the value of the constant by which multiplication is carried out to the signal equivalent to the torque which a motor generates in the machine edge amendment constant multiplication section is determined in the constant count section based on the identification result.

[0021] Moreover, the signal equivalent to the torque which the servo control concerning this invention prepares the identification section with a machine model, and a motor with a working machine generates, The parameter which identifies a machine model based on a position feedback value, and shows the value of the load rate of a machine, It asks for the parameter for computing a ratio with the sum of both the inertia of the inertia of a machine, a machine, and a motor. The value of the constant by which multiplication is carried out to the signal equivalent to the torque which a motor generates in the machine edge amendment constant multiplication section is determined in the constant count section based on the parameter.

[0022] Moreover, the servo control concerning this invention generates the signal which contains the high frequency component more than resonance frequency from an M sequence signal generator. Only when identifying a machine model, add to the signal equivalent to the torque to which a motor with a working machine generates it, and the machine-model identification section identifies a machine model based on an addition result and a position feedback value concerned. It asks for the sum of both the inertia of resonance frequency, antiresonant frequency, a machine, and a motor, and is made to send to the constant count section.

[0023] Moreover, the parameter equivalent to the load rate showing the rigidity of the machine inputted into the constant count section is changed according to the location of a machine in the load-rate setting-out section, and the servo control concerning this invention sets it up.

[0024]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, one gestalt of implementation of this invention is explained.

Gestalt 1. drawing 1 of operation is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 1 of implementation of this invention. In drawing, 1 is a machine which operates according to a predetermined locus, and the block showing the property is shown in the interior. 2 is the motor attached in the machine 1 concerned as an actuator which operates this machine 1, and the block showing that property is shown in the interior. In addition, these motors 2 and a machine 1 are the expressions at the time of making a model with two inertia and the spring of those. 3 is a position sensor according [ perform / it is attached in this motor 2 and / location detection of the motor 2 concerned for example, ] to an encoder etc. In addition, these are the parts equivalent to conventional them which attached and showed the same sign to drawing 11 .

[0025] Moreover, 4 is the location command value generation section which generates the location

command value for a machine 1 operating a predetermined locus top. 5 is the feedback compensation section which generates the feedback torque command value equivalent to torque or it based on the location command value generated in the location command value generation section 4 at least, and the position feedback value from a position sensor 3. 6 is the feedforward compensation section which generates the feedforward torque command value equivalent to torque or it based on the model of a machine 1 and a motor 2 from the location command value generated in the location command value generation section 4. In addition, it is a part equivalent to conventional them these also attached and indicated the same signs to be to drawing 11.

[0026] 8 is the current compensation section which passes the suitable current for a motor 2 based on the desired value equivalent to the torque or it adding the feedback torque command value generated in the feedback compensation section 5, and the feedforward torque command value generated in the feedforward compensation section 6. 9 is the machine edge amendment constant multiplication section to double and which carries out multiplication a constant (henceforth a machine edge amendment constant) about the signal equivalent to the torque or it which a motor 2 generates. 10 is an adder which adds the signal equivalent to the torque or it which was carried out in this machine edge amendment constant multiplication section 9 the several times as many machine edge assistant positive definite as this, and which a motor 2 generates to the location command value which the location command value generation section 4 generated.

[0027] Moreover,  $\theta$  is the location command value which the location command value generation section 4 outputs, and is  $\theta_1$ . The location of a machine 1, and  $\theta_m$  It is the location of the motor 2 detected by the position sensor 3.  $\tau_b$  The feedback torque command value and  $\tau_f$  which the feedback compensation section 5 outputs It is the feedforward torque command value which the feedforward compensation section 6 outputs, and is  $\tau_a$ . These feedback torque command value  $\tau_b$  Feedforward torque command value  $\tau_f$  It is the added total torque command value.  $J_1$  The inertia of a machine 1, and  $J_m$  It is the inertia of a motor 2 and the load rate to which  $K$  expresses the rigidity of a machine 1, and  $c$  are the constants showing the viscous drag of a machine 1.  $K_v$  It is the rate loop-formation proportional gain in the feedback compensation section 5, and, similarly  $K_{vi}$  is rate loop-formation integral gain and  $K_p$ . Similarly it is location loop-formation proportional gain.  $J_{01}$  is the inertia  $J_1$  of a machine 1. Estimate and  $J_{0m}$  are the inertia  $J_m$  of a motor 2. It is estimate and is  $K_0$ . The estimate of load-rate  $K$  of a machine 1, and  $c_0$  It is the estimate of the viscous friction of a machine 1. In addition,  $s$  is a Laplace operator.

[0028] Here, with the servo control of the gestalt 1 of operation shown in the block diagram of drawing 1, a motor 2 is all torque command value  $\tau_a$ . The torque of a passage shall be generated. However, actually, current feedback based on a current sensor (graphic display abbreviation) was performed, the current was controlled, and the motor 1 has generated the torque proportional to the current. Therefore, above-mentioned all torque command value  $\tau_a$  It can also be regarded as the current command value of torque.

[0029] Next, actuation is explained. Same actuation is given to the conventional servo control and conventional basic target which showed drawing 11 also in the servo control by the gestalt 1 of this operation. namely, location value  $\theta_m$  of the motor 2 concerned which the controlled system which consists of a machine 1 and a motor 2 considered as the input all torque command value  $\tau_a$  that is the command value of the torque which a motor 2 generates, and was detected by the motor 2 by the installation \*\*\*\*\* position sensor 3 It considers as an output. The current compensation section 8 is feedback torque command value  $\tau_b$  generated in the feedback compensation section 5 in that case. Feedforward torque command value  $\tau_f$  generated in the feedforward compensation section 6 All added torque command value  $\tau_a$  The suitable current for a basis is passed to a motor 2. In addition, the current compensation section 8 is above-mentioned all torque command value  $\tau_a$ . You may make it pass the suitable current for a motor 2 based on corresponding desired value.

[0030] location command value  $\theta$  by which the feedback compensation section 5 was generated



in the location command value generation section 4 here Location thetam of the motor 2 outputted from the position sensor 3 attached in the motor 2 Based on a difference Location thetam of the motor 2 which performed PID (proportion, integral, and differential) control, and was fed back from the position sensor 3 Feedback torque command value taub which is equivalent to a basis at torque or it It generates. In addition, at the feedback compensation section 5 shown in this drawing 1 also in this case, it is location command value thetar. Location thetam of a motor 2 Although it has the composition of having used each differential value, this serves as a configuration of the above-mentioned PID control by carrying out equivalent transformation.

[0031] on the other hand — the feedforward compensation section 6 —  $J_0 I = J_l$  and  $J_0 m = J_m$  \*\* -- location command value thetar generated in the location command value generation section 4 based on the model of a machine 1 and a motor 2 by carrying out from -- feedforward torque command value tauf equivalent to torque or it It generates. Therefore, location command value thetar by delay of a response like [ when controlling only by the feedback compensation section 5 ] Lowering of flattery precision can be controlled and load-rate K is large enough, and when the rigidity of a machine 1 and a motor 2 is sufficiently high, it is location command value thetar. Location thetal by the side of a machine And location thetam of a motor 2 It can be made in agreement. In addition, with the gestalt 1 of this operation, in the feedforward compensation section 6, since the viscous friction of a controlled system was also taken into consideration and the term of the estimate c0 of the viscous friction of a machine 1 is added to the feedforward compensation section 6, highly precise control is attained.

[0032] Moreover, the machine edge amendment constant multiplication section 9 is all torque command value taua as a signal equivalent to the torque to which a motor 2 generates predetermined machine edge amendment constant  $J_0 I / (K_0 (J_0 I + J_0 m))$ . Multiplication is carried out and the result of an operation is sent out to an adder 10. The location command value thetar which the location command value generation section 4 outputs in an adder 10 All the torque command value taua that machine edge amendment constant  $J_0 I / (K_0)$  Doubled by this machine edge amendment constant multiplication section 9 ( $J_0 I + J_0 m$ ) It adds and it is location thetal of a machine 1. Location command value thetar from the location command value generation section 4 It amends so that it may follow. Qualitatively, they are all torque command value taua. While calculating the torque which has joined the spring section by multiplying by  $J_0 I / (J_0 I + J_0 m) \cdot 1 / K_0$  The amount of telescopic motion of a spring is calculated by taking advantaging, and it responds to the count result, and is location command value thetar. It amends and is location thetal of a machine 1. Location command value thetar from the location command value generation section 4 It is made to follow.

[0033] Thus, since the simple actuation of the constant (machine edge amendment constant) twice of torque has realized amendment of a location command according to the gestalt 1 of this operation, It is enabled only for the amount which the spring equivalent to the rigidity of a machine 1 expanded and contracts to be able to amend the location command value to a motor 2, to be highly precise, and to control the location of a machine 1 by torque which a motor 2 generates, and the configuration is easy and computation time's decreases. Moreover, the values K and  $J_l$  with the estimate  $K_0$  of a controlled-system parameter,  $J_0 I$ , and  $J_0 m$  actual [ even if ] and  $J_m$  Even when it differs from a value, only the effect of only the amount of amendments only changing by proportion twice appears, but even if fluctuation and a presumed error are in a parameter, a property is not changed sharply and the effectiveness that a robust servo control is realizable for fluctuation and the presumed error of a parameter is acquired.

[0034] With the gestalt 1 of gestalt 2. of operation, in addition the above-mentioned implementation As a signal equivalent to the torque which a motor 2 generates, it is feedback torque command value taub. Feedforward torque command value tauf All added torque command value taua It uses, it is doubled a constant (machine edge amendment constant), and it is location command value thetar. Although the case where it added was explained It is good also as an amperometry value of the



current sensor which detects the current of a motor 2 for the signal equivalent to the torque which the motor 2 concerned generates. Namely, location command value thetar which measures the current which prepares a current sensor and flows a motor 2, carries out the multiplication of the machine edge amendment constant to the value proportional to the torque which the motor 2 calculated from the amperometry value detected by the current sensor concerned outputs in the machine edge amendment constant multiplication section 9, and the location command value generation section 4 outputs It adds. By doing in this way, the same effectiveness as the case of the gestalt 1 of the above-mentioned implementation is acquired.

[0035] In the gestalt 1 of gestalt 3. of operation, and the above-mentioned implementation feedback torque command value taub which the feedback compensation section 5 generates Feedforward torque command value tauf which the feedforward compensation section 6 generates All added torque command value taua Although what was made into the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates was explained It is good also as a signal equivalent to the torque to which tauf and its motor 2 generate the feedforward torque command value which the feedforward compensation section 6 generates. Drawing 2 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 3 of implementation of such this invention, gives the same notation as the considerable part of drawing 1 to each part, and omits that explanation to it.

[0036] At the gestalt 3 of this operation, it is feedback torque command value taub. Feedforward torque command value tauf All added torque command value taua Feedforward torque command value tauf instead outputted from the feedforward compensation section 6 It is sent to the machine edge correction value multiplication section 9. At the machine edge correction value multiplication section 9, it is this feedforward torque command value tauf. The multiplication of the machine edge amendment constant is carried out, and it is location command value thetar from delivery and the location command value generation section 4 to an adder 10. Location command value thetar is amended by adding it. When the parameter of the feedforward compensator 6 is adjusted and feedforward is performed good, it is feedback torque command value taub. It can be regarded as about 0.

[0037] Therefore, it is feedforward torque command value tauf as a signal which is equivalent to the torque which a motor 2 generates also in the gestalt 3 of this operation when the parameter of the feedforward compensator 6 is almost exact. Even if it uses, they are all torque command value taua. The almost same effectiveness as the case where it uses can be acquired.

[0038] Next, the robustness of this invention in comparison with the conventional servo control is checked using the Bode diagram shown in drawing 3 and drawing 4 using the gestalt 3 of this operation. Since it is easy, it is referred to as  $c=c_0=K_v i=0$  here. supposing it does not use the feedforward compensator 5 and the machine edge amendment constant multiplication section 9 here in the servo control shown in drawing 2 -- location command value thetar from -- location thetal of a machine 1 up to -- a transfer function is expressed with the formula (1) shown below.

[0039]

[Equation 1]

$$G_1(S) = \frac{1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}$$

. . . (1)

[0040] in addition -- if the feedforward compensator 5 is used -- location command value thetar from -- location thetal of a machine 1 up to -- a transfer function is shown in the following formula (2).

[0041]

[Equation 2]

$$G_2(S) = \frac{\frac{J_{0m} + J_{0l}}{K_v K_p} S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (2)$$

[0042] furthermore -- if the machine edge amendment constant multiplication section 9 is used -- location command value thetar from -- location thetal of a machine 1 up to -- a transfer function is shown in the following formula (3).

[0043]

[Equation 3]

$$G_3(S) = \frac{\left( \frac{J_{0m} + J_{0l}}{K_v K_p} + \frac{J_{0l}}{K_0} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (3)$$

[0044] moreover, the case where the machine edge amendment section 7 (however,  $\alpha = J_l / (K (J_l + J_m))$ ,  $\beta = J_m$ ) in the conventional servo control shown in drawing 11 is used -- location command value thetar from -- location thetal of a machine 1 up to -- a transfer function is expressed with the formula (4) shown below.

[0045]

[Equation 4]

$$G_4(S) = \frac{\frac{J_{0m} J_{0l}}{K_0 K_v K_p} S^4 + \frac{J_{0l}}{K_0 K_p} S^3 + \left( \frac{J_{0m} + J_{0l}}{K_v K_p} + \frac{J_{0l}}{K_0} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (4)$$

[0046] Here, drawing 3 is  $J_l = 0.5$ ,  $J_m = 0.5$ ,  $K_p = 30$ ,  $K_v = 200$ ,  $K = 600 * 600 * J_l * J_m / (J_l + J_m)$ ,  $J_{0l} = J_l$ , and  $J_{0m} = J_m$ . It is the Bode diagram which was carried out and was drawn based on the above-mentioned formula (3) the case of  $K_0 = K$ , and in [ both ]  $K_0 = 1.5K$ . drawing -- setting -- 21  $K_0 = K$  and 22 are [ the phase diagram in  $K_0 = K$  and 24 ] the phase diagrams in  $K_0 = 1.5K$ , and each gain diagrams 21 and 22 and the Gentlemen phase diagrams 23 and 24 have lapped like a graphic display, respectively. Thus, it can be said that the accuracy of amendment hardly changes a property as a frequency response although only the part of gap deteriorates even if Parameter K is not the exact value shifted 1.5 times.

[0047] Drawing 4 is the Bode diagram drawn based on the formula (4) on the same conditions as drawing 3. drawing -- setting -- 25  $K_0 = K$  and 26 are [ the phase diagram in  $K_0 = K$  and 28 ] the phase diagrams in  $K_0 = 1.5K$ . As drawing shows, when Parameter K shifts 1.5 times shows changing frequency characteristics sharply. By comparing these drawing 3 with drawing 4, it can be said as robustness by parameter fluctuation that the method of this invention is dominance.

[0048] In the gestalt 3 of gestalt 4. of operation, and the above-mentioned implementation, although what does not contain a fricative model was shown as a model of a machine 1 and a motor 2, it is also possible to apply to the model of the machine 1 containing a fricative model and a motor 2.

Drawing 5 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 4 of implementation of such this invention, gives the same notation as the considerable part of drawing 2 to each part, and omits that explanation to it. In addition,  $F$  is a Coulomb's-friction value which joins a machine 1, and is  $F_0$  in the feedforward compensation section 6. It is a friction-compensation parameter for compensating with the feedforward compensation section 6 concerned the Coulomb's-friction value  $F$  which joins the machine 1. Moreover,  $\text{sgn}(-)$  is [ 1 and ] at the negative time, when an argument is forward. - The signum used as 0 is shown at the time of 1 and 0.

[0049] The feedforward compensation section 6 in the gestalt 4 of this operation is the above-mentioned friction-compensation parameter  $F_0$ . It is the estimate  $c_0$  of the viscous friction of a machine 1 using Signum  $\text{sgn}(-)$  about the torque command value which compensated the Coulomb's-friction value  $F$  which joins a machine 1, and was acquired. It adds to the torque command value which took into consideration and asked also for the viscous friction of a controlled system using the term further, and is feedforward torque command value  $\tau_{\text{uff}}$ . It is generating. Thus, feedforward torque command value  $\tau_{\text{uff}}$  by which friction compensation was carried out Location command value  $\theta_{\text{etar}}$  which delivery and the location command value generation section 4 generated to the adder 10 It is amending. Therefore, according to the gestalt 4 of this operation, it sets at the time of sign reversal of the rate of a command value, and is feedforward torque command value  $\tau_{\text{uff}}$ . Since step-like change arises, it is location command value  $\theta_{\text{etar}}$ . Amendment also turns into step-like amendment. The backlash produced with the rigidity of this 1, i.e., a machine, and fricative magnitude will be amended.

[0050] Although what included the torque command which is gestalt 5. of operation, and which was generated from the fricative model with the gestalt 4 of the above-mentioned implementation in the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates was explained, you may make it the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates not include the torque command generated from the fricative model. Drawing 6 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 5 of implementation of such this invention, gives the same notation as drawing 5 to a considerable part, and omits that explanation.

[0051] feedforward torque command value  $\tau_{\text{uff}}$  which the feedforward compensation section 6 outputs in the gestalt 5 of this operation as shown in drawing 6 \*\*\*\* -- friction-compensation parameter  $F_0$  from a fricative model Although the friction compensation using Signum  $\text{sgn}(-)$  is included As a signal equivalent to the torque which the motor 2 sent to the machine edge amendment constant multiplication section 9 generates, it is considering only as the torque command value which does not include the torque command value from the model of the friction and which was calculated in consideration of viscous friction. Location command value  $\theta_{\text{etar}}$  from the location command value generation section 4 Amendment is performed by adding what carried out the signal equivalent to the torque which the motor 2 which does not include the torque command value from the model of this friction generates the several times as many machine edge assistant positive definite as this. It is location command value  $\theta_{\text{etar}}$  like [ when shakiness exists in a machine 1 ], without including the term of friction compensation in this way, when amendment of backlash needs to be set up separately. Amending becomes effective.

[0052] Although the machine edge amendment constant which carries out multiplication to the signal which is equivalent to the torque which is gestalt 6. of operation, and which a motor 2 generates in the gestalt of each above-mentioned implementation was fixed, modification of the machine edge amendment constant concerned can also be enabled. Drawing 7 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 6 of implementation of such this invention, gives the same sign as drawing 1 to a considerable part, and omits that explanation.

[0053] In drawing 11 with the inertia of a machine 1 and the inertia of a motor 2, and a spring in the meantime Load rate  $K_0$  of a machine 1 at the time of modeling a machine 1 and a motor 2 Inertia  $J_{0l}$  of the parameter which shows a value, and a machine 1, It is the parameter input section which inputs the parameter for computing the ratio of inertia  $J_{0l}$  of a machine 1, and all inertia  $J_0$   $I+J_{0m}$

that is the inertia  $J_{0m}$  sum of a motor 2. 12 is the constant count section which calculates the value of the machine edge amendment constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor 1 generates based on the parameter inputted from this parameter input section 11, and sets it as the machine edge amendment constant multiplication section 9.

[0054] It is the load rate  $K_0$  which shows the rigidity of a machine 1 from the parameter input section 11 in the gestalt 6 of this operation as shown in drawing 7. As a parameter for computing the ratio of inertia  $J_{0l}$  and all inertia  $J_0 + J_{0m}$  of a machine 1, all inertia  $J_0 + J_{0m}$  and inertia  $J_{0m}$  of a motor are inputted. The constant count section 12 is these all inertia  $J_0 + J_{0m}$ , inertia  $J_{0m}$  of a motor, and the load rate  $K_0$  of a machine 1. If it receives Value  $J_{0l}/(K_0 (J_0 + J_{0m}))$  of the machine edge amendment constant by which multiplication is carried out to the signal (it sets in the gestalt 6 of this operation, and they are all torque command value  $\tau_{aua}$ ) equivalent to the torque which a motor 1 generates is calculated using those values, and it is set as the machine edge amendment constant multiplication section 9.

[0055] It operates like the case of the gestalt 1 of operation hereafter. The machine edge amendment constant multiplication section 9 Feedback torque command value  $\tau_{aub}$  Feedforward torque command value  $\tau_{auf}$  All added torque command value  $\tau_{aua}$  Location command value  $\theta_{tar}$  which carried out the multiplication of the machine edge amendment constant set up from this constant count section 12, and delivery and the location command value generation section 4 generated to the adder 10 It amends.

[0056] Thus, even when according to the gestalt 6 of this operation the value of a rough parameter can be guessed at the time of the design of a machine 1 and only a specific parameter changes clearly, the effectiveness that a user can change the machine edge amendment constant concerned easily, without being conscious of the value of the machine edge amendment constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates is acquired.

[0057] Gestalt 7. drawing 8 of operation is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 7 of implementation of this invention, gives the same sign as drawing 7 to a considerable part, and omits that explanation. Here, the gestalt 7 of this operation is applied to control of a controlled system from which only the inertia of a machine 1 changes, and assumes the effective servo control.

[0058] In drawing, 13 is the inertia identification section which identifies all inertia  $J_0 + J_{0m}$  that is the inertia  $J_{0m}$  [ of the inertia  $J_{0l}$  and the motor 2 of a machine 1 ] sum the signal (all torque command value  $\tau_{aua}$ ) which is equivalent to the torque which a motor 2 generates when a machine 1 is working based on the position feedback value (location  $\theta_{tam}$  of a motor 2) outputted from a position sensor 3. Moreover, the parameter input section 11 is the load rate  $K_0$  of a machine 1 as a parameter. It is the point of performing the inertia  $J_{0m}$  input of a motor 2, and differs from what gave the same sign to drawing 7. Moreover, for the constant count section 12, the machine edge amendment constant multiplication section 9 is all torque command value  $\tau_{aua}$ . All inertia  $J_0 + J_{0m}$  identified in the inertia identification section 13 in the value of the machine edge amendment constant for carrying out multiplication, It differs from what gave the same sign to drawing 7 at the point which are the load rate  $K_0$  of the machine 1 inputted from the parameter input section 11, and the thing for which it asks based on inertia  $J_{0m}$  of a motor 2.

[0059] It is the load rate  $K_0$  which shows the rigidity of a machine 1 from the parameter input section 11 in the gestalt 7 of this operation as shown in drawing 8. Two kinds of inertia  $J_{0m}$  parameters of a motor 2 are inputted. The parameter which, on the other hand, shows all inertia  $J_0 + J_{0m}$  that is the inertia  $J_{0m}$  sum of the inertia  $J_{0l}$  and the motor 2 of a machine 1 is all torque command value  $\tau_{aua}$  that is I/O of the machine 1 and motor 2 which are a controlled system. Location  $\theta_{tam}$  of a motor 1 Based on data, it is identified in the inertia identification section 13, and all identified inertia  $J_0 + J_{0m}$  is inputted into it at the constant count section 12. the constant count section 12 — from this inertia identification section 13 — all — inertia  $J_{0l} + J_{0m}$ , inertia  $J_{0m}$

of the motor 2 from the parameter input section 11, and load rate K0 if it receives — a basis [ they ] — all torque command value taua The machine edge amendment constant for carrying out multiplication is calculated, and it is set as the machine edge amendment constant multiplication section 9. The machine edge amendment constant multiplication section 9 is location command value thetar to which the location command value generation section 4 generated the machine edge amendment constant. Multiplication is carried out and it is amended.

[0060] Here, when a work piece with big mass is carried in a machine tool, it may happen frequently that only inertia J0l. of a machine changes and all inertia J0 l+J0m identified in the inertia identification section 13 in a parameter changes. The gestalt 7 of this operation is effective when controlling a controlled system from which only inertia J0l. of such a machine changes. moreover, the case where it identifies in the inertia identification section 13 — all — inertia J0l.+J0m — all torque command value taua acceleration and deceleration usual, for example, even when a frequency component is low frequency comparatively — identification serves as an easy parameter even from working data, and even if it uses a comparatively simple identification algorithm, sufficient parameter can be identified practical.

[0061] Although what calculates a machine edge amendment constant was shown in the gestalt 6 of the above-mentioned implementation using the parameter which is gestalt 8. of operation and which was inputted from the parameter input section 11, it may be made to calculate a machine edge amendment constant using the parameter obtained by identification of a machine model. Drawing 9 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 8 of implementation of such this invention, gives the same sign as drawing 7 to a considerable part, and omits that explanation.

[0062] a basis [ value / from a signal and a position sensor 3 / which is equivalent to the torque which a motor 2 generates in drawing when a machine 1 of 14 is working / position feedback ] — identification of a machine model — carrying out — load rate K0 of a machine 1 It is the machine-model identification section which asks for the parameter for computing the ratio of inertia J0l. and all inertia J0 l+J0m of the parameter which shows a value, and a machine 1. Moreover, omega i Antiresonant frequency and omega r It is resonance frequency and is concerned antiresonant frequency omega i as the above-mentioned parameter from this machine-model identification section 14. And resonance frequency omega r All inertia J0 l+J0m is outputted. 15 is resonance frequency omega r. It is the M sequence signal generator which generates the M sequence signal containing the above high frequency component, and 16 is a switch for adding the M sequence signal which this M sequence signal generator 15 generated to the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates when a machine 1 is working, only when identifying a machine model in the machine-model identification section 14.

[0063] In addition, the constant count section 12 is the point which is what is set as the machine edge amendment constant multiplication section 9 in quest of the machine edge amendment constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor 2 generates, and differs from what attached and showed the same sign to drawing 7 based on antiresonant-frequency omega i obtained by identification of the machine model by the machine-model identification section 14, resonance-frequency omega r, and all inertia J0 l+J0m.

[0064] The signal which is equivalent to the torque which the motor 2 with a working machine 1 generates in the machine-model identification section 14 in the gestalt 8 of this operation (all torque command value taua), Based on the position feedback value (location thetam of a motor 2) from a position sensor 3 Load rate K0 of a machine 1 The value of antiresonant frequency omega i as a parameter for computing the ratio of inertia J0l. and all inertia J0 l+J0m of the parameter which shows a value, and a machine 1, resonance frequency omega r, and all inertia J0 l+J0m is identified. For identification of the machine model in this machine-model identification section 14, it is resonance frequency omega i. It is necessary to input a signal with the above frequency component into a motor 2 (controlled system). The M sequence signal generator 15 is all torque command value

taua, only when the M sequence signal containing that high frequency component is generated and a switch 16 identifies a machine model for the M sequence signal which this M sequence signal generator 15 outputs. It adds.

[0065] In addition, identification of the value of these antiresonant frequency  $\omega_i$ , resonance frequency  $\omega_r$ , and all inertia  $J_0 + J_{0m}$  can be carried out using the well-known technique specifically proposed until now. For example, antiresonant frequency  $\omega_i$  And resonance frequency  $\omega_r$  If it attaches, it is possible by asking for a Bode diagram from the I/O to a controlled system, and performing curve fitting to calculate the value. Moreover, the value of all inertia  $J_0 + J_{0m}$  can be calculated like the case of the gestalt 7 of operation.

[0066] Here, they are antiresonant frequency  $\omega_i$  and resonance frequency  $\omega_r$ . Inertia  $J_{0l}$  of a machine, inertia  $J_{0m}$  of a motor, and load rate  $K_0$  Relation is given by a following formula (5) and a following formula (6).

[0067]

[Equation 5]

$$\omega_i = \sqrt{K_0 \frac{1}{J_{0l}}} \quad \cdot \cdot \cdot (5)$$

$$\omega_r = \sqrt{K_0 \frac{J_{0m} + J_{0l}}{J_{0m} J_{0l}}} \quad \cdot \cdot \cdot (6)$$

[0068] Therefore, if the value of all inertia  $J_0 + J_{0m}$  can also be identified, using those values, the constant count section 12 will calculate value  $J_{0l}/(K_0 (J_0 + J_{0m}))$  of a machine edge amendment constant, and will set it as the machine edge amendment constant multiplication section 9. The machine edge amendment constant multiplication section 9 is feedback torque command value  $\tau_{aub}$ . Feedforward torque command value  $\tau_{auf}$  All added torque command value  $\tau_{aua}$  Location command value  $\theta_{tar}$  which carried out the multiplication of the machine edge amendment constant set up from this constant count section 12, and delivery and the location command value generation section 4 generated to the adder 10 It amends. Thereby, an amendment parameter is automatically tunable at the time of initialization or parameter fluctuation.

[0069] Gestalt 9. drawing 10 of operation is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 9 of implementation of this invention, gives the same sign as drawing 7 to a considerable part, and omits that explanation. Here, with the gestalt 9 of this operation, the parameter, especially the servo control used for control of the machine 1 from which the value of load-rate  $K$  showing the rigidity of a machine 1 changes are assumed according to the location of the machine 1 which makes a ball screw a transfer device. in drawing, 17 generates the parameter of the value of load-rate  $K$  showing the rigidity of a machine 1 according to the location (location  $\theta_{tam}$  of the motor 2 which a position sensor 3 outputs in the example of a graphic display — it is — a position feedback value) of a machine 1, is the load-rate setting-out section which sets it as the constant count section 12, and is formed in this case by the table by which that content is set up from the parameter input section 11.

[0070] Next, actuation is explained. From the parameter input section 11, the value of load-rate  $K$  of the machine 1 corresponding to it is beforehand set as the load-rate setting-out section 17 in the form of a table for every location of a machine 1. Location  $\theta_{tam}$  of the motor 2 which a position sensor 3 outputs when a machine 1 operates actually It is the load rate  $K_0$  corresponding to [ it is inputted into this load-rate setting-out section 17, and ] it from the load-rate setting-out section 17. It is sent to the constant count section 12. For example, when a machine 1 uses a ball screw, as a simple example, the load rate of a machine 1 becomes so small that the moving part of a machine 1 separates from a motor 2, and becomes so large that it approaches. In such a machine 1, by using the servo control by the gestalt 9 of this operation, machine edge amendment which suited the actual property of a machine 1 can be realized, and the improvement in precision of the position

control of a machine 1 can be aimed at.

[0071] In addition, although the above-mentioned explanation showed the thing using the output (position feedback value) of the position sensor 3 attached in the motor 2 as that of the location of a machine 1, especially a problem is not produced even if it uses the output of a position sensor 3, since it can consider that the location of a machine 1 and the location of a motor 2 are the almost same values in the semantics of change of load-rate K of a machine 1. Moreover, in the semantics, even if it uses the location command value which the location command value generation section 4 outputs, the same effectiveness is acquired.

[0072] Furthermore, although the above-mentioned explanation explained what sets up load-rate K as the load-rate setting-out section 17 using the table with which the content is set up from the parameter input section 11, load-rate K may be set up using a predetermined formula, for example, the formula which calculates load-rate K of a machine 1 as a linear function of the location of a machine 1. In addition, as this formula, various things, such as a quadratic and a formula using a trigonometric function, can be considered according to the structure of a machine 1.

[0073]

[Effect of the Invention] As mentioned above, it sets to the control system which controls the torque which a motor generates by performing feedback control and feedforward control based on the location command value outputted from the location command value generation section according to this invention. Since it constituted so that the multiplication of the predetermined constant might be carried out to the signal equivalent to the torque which a motor generates, or the torque concerned and it might add to a location command value Only the amount which the spring which is equivalent to the rigidity of a machine with the torque which a motor generates by simple actuation of the constant twice of torque expands and contracts can amend the location command to a motor. It becomes possible to control the location of a machine by high precision, and a configuration is easy, and even when fluctuation and a presumed error are in a parameter, it is [ there is also little computation time, and ] effective in the robust servo control with which a property is not changed sharply being obtained.

[0074] Moreover, since according to this invention the desired value equivalent to the torque or it adding a feedback torque command value and a feedforward torque command value was constituted so that it might use as a signal equivalent to the torque which a motor generates It is effective in it becoming possible to make the location of a machine follow the location command value easily by making the location command value which was calculated by carrying out the multiplication of the machine edge amendment constant to it and which was amended according to the amount of telescopic motion of torque and a spring which has joined the spring section follow.

[0075] Moreover, according to this invention, also by using as a signal equivalent to the torque to which a motor generates the measured value of a current sensor, the location of a machine can be controlled to high degree of accuracy, and it is effective in the high servo control of robustness being obtained.

[0076] Moreover, if feedforward is performed good also by using as a signal equivalent to the torque to which a motor generates a feedforward torque command value according to this invention, effectiveness equivalent to the case where the sum of a feedback torque command value and a feedforward torque command value is used can be acquired.

[0077] Moreover, since according to this invention it constituted so that a fricative model might be included, it is effective in becoming possible to amend the backlash by the rigidity of a machine, and fricative magnitude.

[0078] Moreover, since according to this invention it constituted so that the torque command value generated from the fricative model might not be included in the signal equivalent to the torque which a motor generates, when shakiness is in a machine, it is effective in applying, when amendment of backlash needs to be set up separately, and an effective servo control being obtained.

[0079] Moreover, the value of a load rate at the time of modeling a motor and a machine with each



inertia and spring according to this invention, Since it constituted so that the value of the constant by which multiplication is carried out to the signal equivalent to the torque which inputs the parameter for computing a ratio with the sum of the inertia of a machine and the inertia of both a motor and a machine, and a motor generates might be determined It is effective in the ability to change the value easily, without being conscious of the value of the constant by which multiplication is carried out to the signal equivalent to the torque which a motor generates, even when the value of a rough parameter can be guessed at the time of a machine design and only a specific parameter changes clearly.

[0080] According to this invention, moreover, based on the signal and position feedback value equivalent to the torque which a motor with a working machine generates Since the sum of the inertia of the both sides of a machine and a motor was identified, and it constituted from the identification result so that the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor generates might be determined It is effective in applying, when controlling a controlled system from which only the inertia of a machine changes, and an effective servo control being obtained.

[0081] Moreover, the parameter which shows the load rate of a machine based on the signal and position feedback value which are equivalent to the torque which a motor with a working machine generates according to this invention, Since the parameter for computing a ratio with the sum of the inertia of both the inertia of a machine, a machine, and a motor was identified, and it constituted from the identification result so that the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor generates might be determined It is effective in the servo control which can tune up an amendment parameter to a suitable value automatically at the time of initialization and parameter fluctuation being obtained.

[0082] Only when identifying a machine model according to this invention, moreover, the M sequence signal containing the high frequency component more than resonance frequency It adds to the signal equivalent to the torque which a motor with a working machine generates. Based on the addition result and position feedback value The machine-model identification section identifies a machine model, and makes a parameter the sum of the inertia of the both sides of resonance frequency, antiresonant frequency and a machine, and a motor. since it constituted so that the value of the constant which carries out multiplication to the signal equivalent to the torque which a motor generates might be determined, it is alike at the time of initialization and parameter fluctuation, and it is effective in becoming possible to set up the value of a suitable amendment parameter automatically.

[0083] Moreover, since according to this invention the parameter equivalent to the value of the load rate showing the rigidity of a machine is changed according to the location of a machine and can be set up, it is effective in becoming possible to correspond also to change of the parameter by the location of machines of a ball screw, such as rigidity, without degrading precision.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 1 of implementation of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 3 of implementation of this invention.

[Drawing 3] It is a Bode diagram to show the robustness of the servo control by this invention.

[Drawing 4] It is a Bode diagram to show a lack [ the robustness of the conventional servo control ].

[Drawing 5] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 4 of implementation of this invention.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 5 of implementation of this invention.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 6 of implementation of this invention.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 7 of implementation of this invention.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 8 of implementation of this invention.

[Drawing 10] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the gestalt 9 of implementation of this invention.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the configuration of the conventional servo control.

### [Description of Notations]

1 A machine, 2 machine-model identification section, 15 M sequence signal generator, 16 switch, 17 load-rate setting-out section. A motor, 3 A position sensor, 4 The location command value generation section, 5 The feedback compensation section, 6 The feedforward compensation section, 8 The current compensation section, 9 The machine edge amendment constant multiplication section, 10 An adder, 11 The parameter input section, 12 The constant count section, 13 The inertia identification section, 14

---

[Translation done.]

### \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

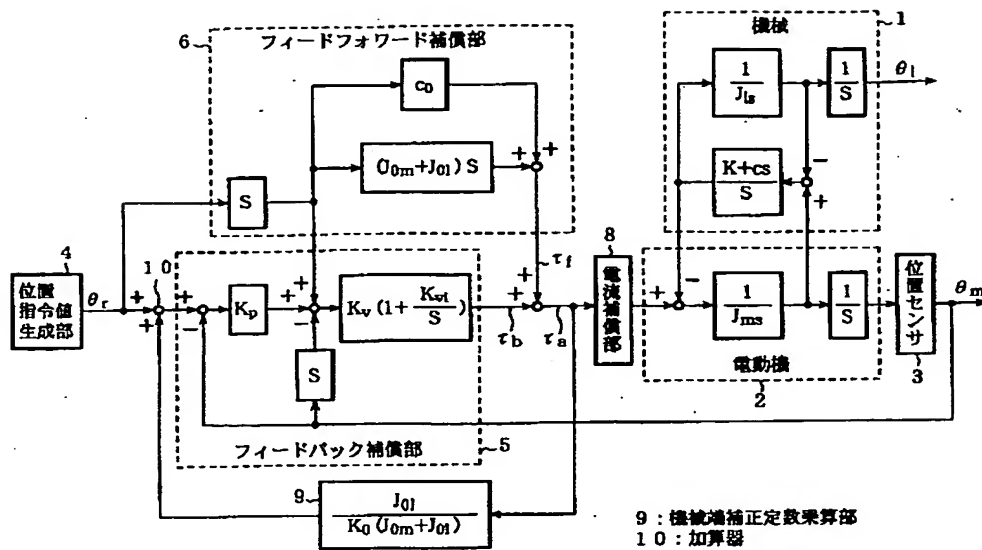
3.In the drawings, any words are not translated.

---

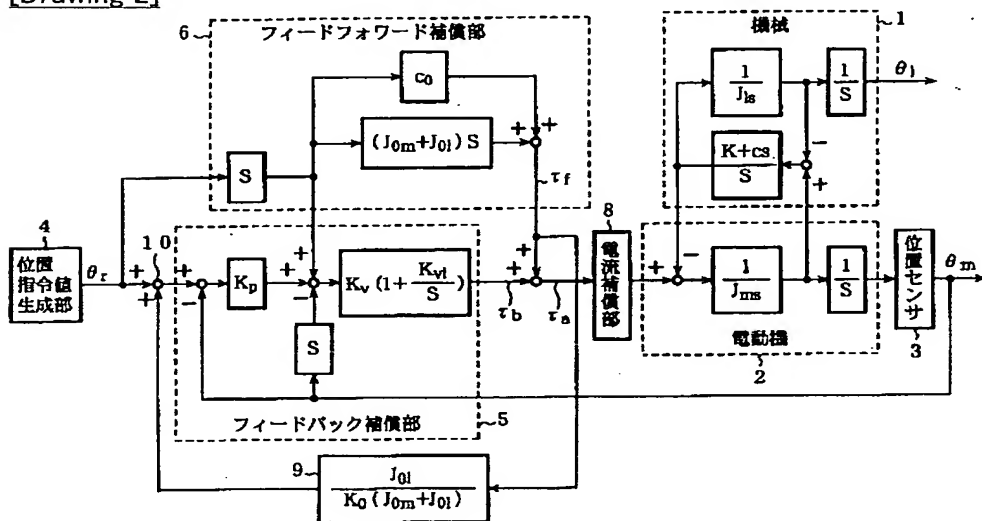
## DRAWINGS

---

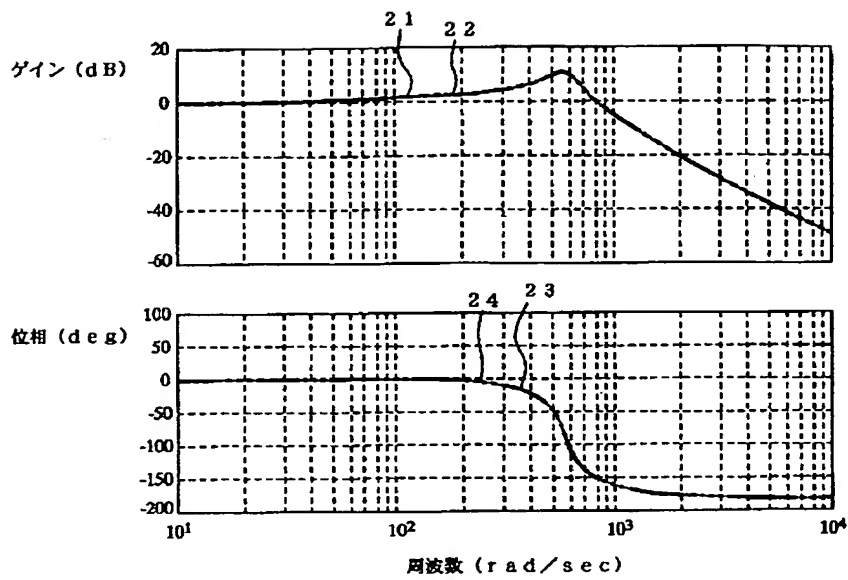
[Drawing 1]



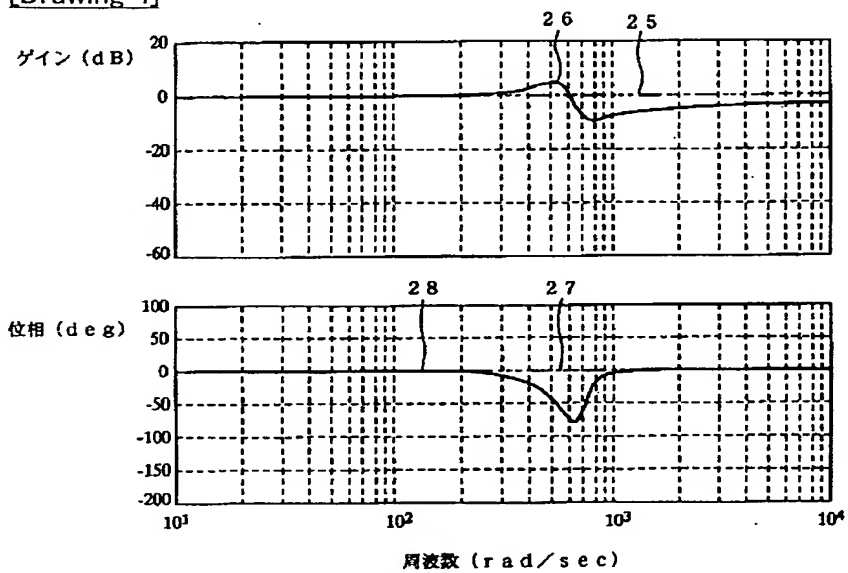
[Drawing 2]



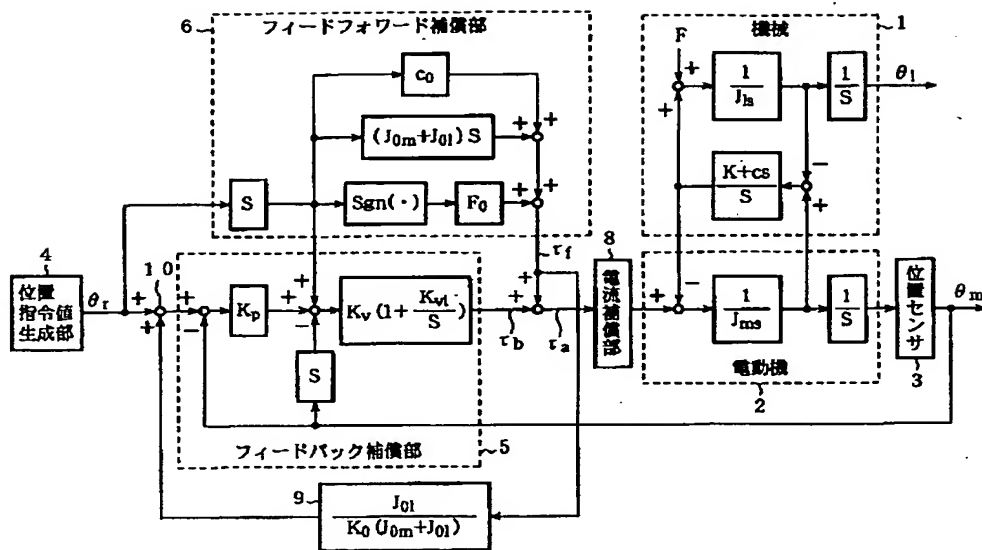
[Drawing 3]



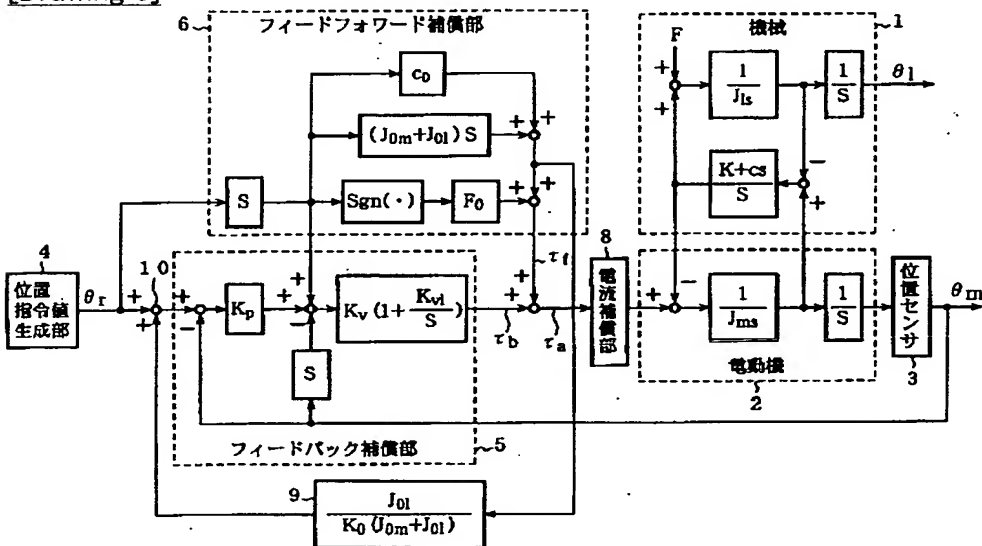
[Drawing 4]



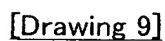
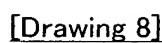
[Drawing 5]

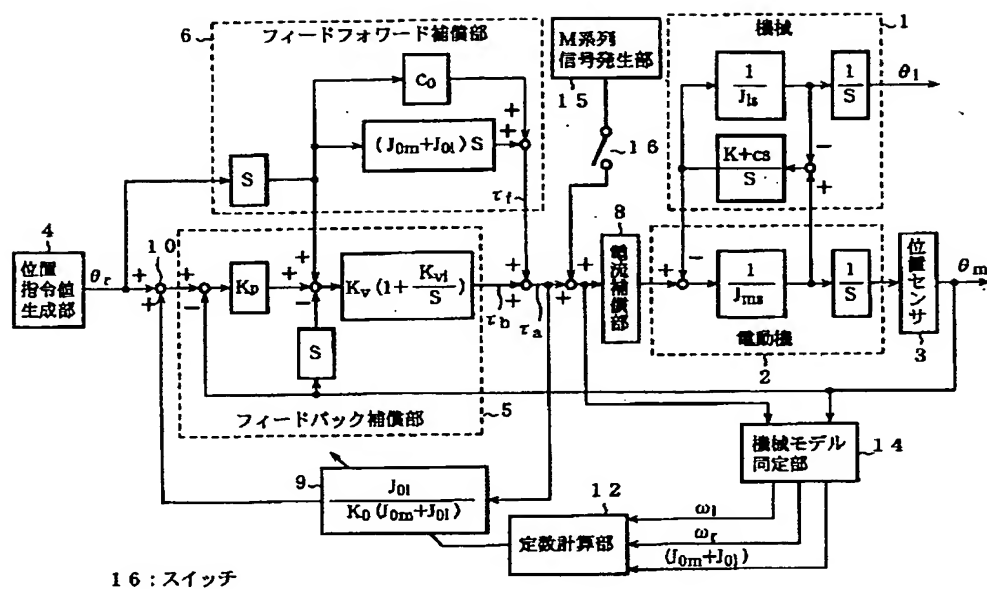


[Drawing 6]

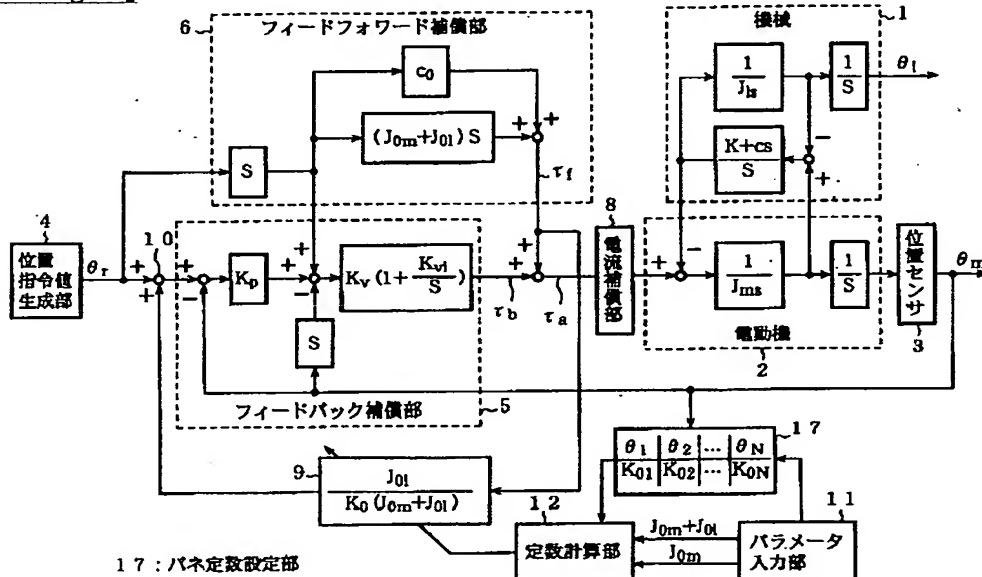


[Drawing 7]



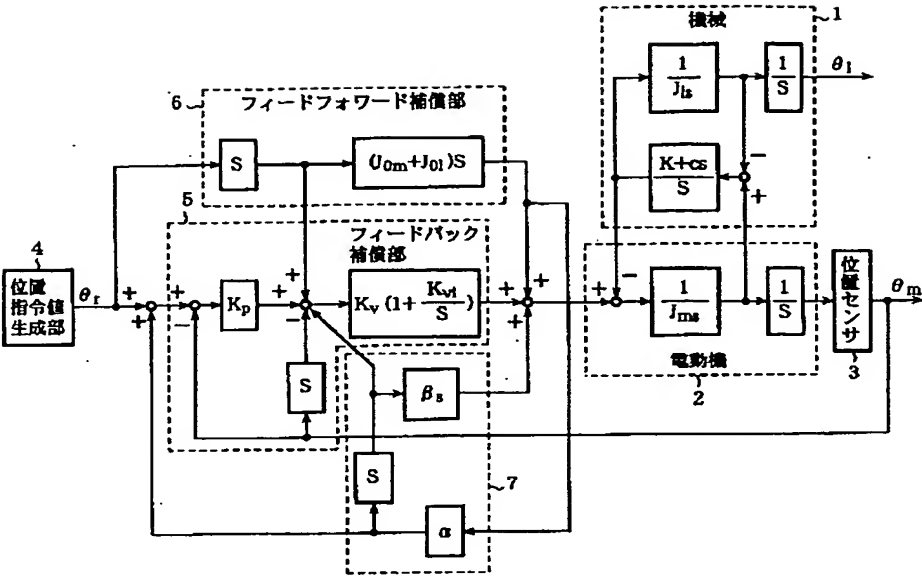


[Drawing 10]



[Drawing 11]





[Translation done.]

**書誌**

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
 (12)【公報種別】公開特許公報(A)  
 (11)【公開番号】特開2000-172341(P2000-172341A)  
 (43)【公開日】平成12年6月23日(2000. 6. 23)  
 (54)【発明の名称】サーボ制御装置  
 (51)【国際特許分類第7版】

G05D 3/12 305  
 G05B 11/32  
 H02P 5/00

**【FI】**

G05D 3/12 305 L  
 G05B 11/32 F  
 H02P 5/00 J  
 X

【審査請求】未請求

【請求項の数】11

【出願形態】OL

【全頁数】17

(21)【出願番号】特願平10-351833

(22)【出願日】平成10年12月10日(1998. 12. 10)

(71)【出願人】

【識別番号】000006013

【氏名又は名称】三菱電機株式会社

【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)【発明者】

【氏名】岩崎 隆至

【住所又は居所】東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74)【代理人】

【識別番号】100066474

【弁理士】

【氏名又は名称】田澤 博昭(外1名)

【テーマコード(参考)】

5H004  
 5H303  
 5H550

**【Fターム(参考)】**

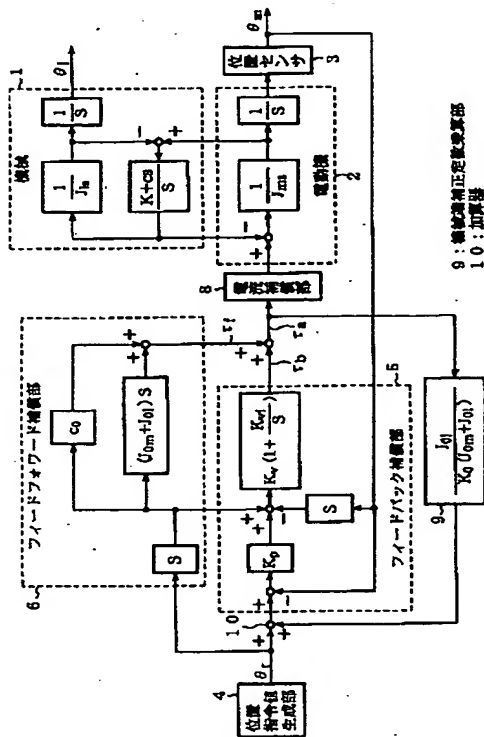
5H004 GA01 GA07 GB15 HA07 HB07 JA03 JB02 JB21 KA01 KA32 KB02 KB04 KB06 KB08 KB13 KB33 KB38 KC33 KC39  
 5H303 AA01 BB01 BB06 CC01 CC04 CC07 CC08 DD01 EE03 EE07 FF06 JJ02 KK02 KK03 KK04 KK07 KK11 KK14 KK17  
 5H550 AA18 DD04 DD06 EE01 FF02 FF03 FF04 GG01 GG03 JJ03 JJ04 JJ22 JJ23 JJ24 JJ25 KK05 LL07

**要約**

(57)【要約】

【課題】高精度で位置制御が行え、簡単な構成で計算時間も少なく、パラメータの変動や推定誤差に対してもロバストなサーボ制御装置を実現する。

【解決手段】機械1を動作させる電動機2に付加された位置センサ3、機械の動作軌跡を生成する位置指令値生成部4、フィードバックトルク指令値を生成するフィードバック補償部5、フィードフォワードトルク指令値を生成するフィードフォワード補償部6、それらを加算した全トルク指令値をもとに電動機に適切な電流を流す電流補償部8、電動機が発生するトルクを定数倍する機械端補正定数乗算部9、および定数倍された全トルク指令値を位置指令値に加算する加算器10にて構成したサーボ制御装置。



## 請求の範囲

### 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の軌跡上を動作する機械に取り付けられ、位置指令値に追従して当該機械を動作させる電動機と、前記電動機に取り付けられて当該電動機的位置検出を行う位置センサと、前記機械を所定の軌跡上を動作させるための前記位置指令値を生成する位置指令値生成部と、前記位置指令値生成部で生成された位置指令値と、前記位置センサからの位置フィードバック値をもとに、トルクあるいはそれに相当するフィードバックトルク指令値を生成するフィードバック補償部と、前記機械および前記電動機のモデルをもとに、前記位置指令値からトルクあるいはそれに相当するフィードフォワードトルク指令値を生成するフィードフォワード補償部と、前記フィードバックトルク指令値と前記フィードフォワードトルク指令値を加算したトルクあるいはそれに相当する目標値をもとに前記電動機に適切な電流を流す電流補償部と、前記電動機が発生するトルクあるいはそれに相当する信号を定数倍する機械端補正定数乗算部と、前記機械端補正定数乗算部にて定数倍された、前記電動機が発生するトルクあるいはそれに相当する信号を、前記位置指令値生成部の生成した位置指令値に加算する加算器とを備えたサーボ制御装置。

【請求項2】 フィードバック補償部の生成するフィードバックトルク指令値と、フィードフォワード補償部の生成するフィードフォワードトルク指令値を加算したトルクあるいはそれに相当する目標値を、電動機が発生するトルクに相当する信号としたことを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項3】電動機に流れる電流を測定する電流センサを備え、当該電流センサによる電流測定値を、前記電動機が発生するトルクに相当する信号としたことを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項4】フィードフォワード補償部の生成するフィードフォワードトルク指令値を、電動機が発生するトルクに相当する信号としたことを特徴とする請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項5】機械および電動機のモデルとして、摩擦のモデルを含むことを特徴とする請求項4記載のサーボ制御装置。

【請求項6】電動機が発生するトルクに相当する信号に、摩擦のモデルから生成されたトルク指令値を含めないことを特徴とする請求項5記載のサーボ制御装置。

【請求項7】機械と電動機を、前記機械のイナーシャおよび前記電動機のイナーシャと、その間のバネによってモデル化した場合の、前記機械のバネ定数の値を示すパラメータと、前記機械のイナーシャと前記2つのイナーシャの和との比を算出するためのパラメータとを入力するパラメータ入力部と、前記パラメータ入力部より入力された、前記各パラメータに基づいて、前記電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を求めて機械端補正定数乗算部に設定する定数計算部とを設けたことを特徴とする請求項1から請求項6のうちのいずれか1項記載のサーボ制御装置。

【請求項8】機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と、位置センサからの位置フィードバック値をもとに、前記電動機のイナーシャと機械のイナーシャとの和を同定するイナーシャ同定部を設け、パラメータ入力部が、パラメータとして、前記機械のバネ定数の値と、前記電動機のイナーシャとを入力するものであり、定数計算部が、前記イナーシャ同定部にて同定された前記電動機のイナーシャと機械のイナーシャとの和と、前記パラメータ入力部から入力されたパラメータに基づいて、前記電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を求めるものであることを特徴とする請求項7記載のサーボ制御装置。

【請求項9】機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と、位置センサからの位置フィードバック値をもとに、機械モデルの同定を行い、前記機械のバネ定数の値を示すパラメータと、前記機械のイナーシャと前記機械および前記電動機それぞれのイナーシャの和の比とを算出するためのパラメータを求める機械モデル同定部と、前記機械モデル同定部の求めたパラメータに基づいて、前記電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を求めて機械端補正定数乗算部に設定する定数計算部とを設けたことを特徴とする請求項1から請求項6のうちのいずれか1項記載のサーボ制御装置。

【請求項10】共振周波数以上の高周波成分を含む信号を生成するM系列信号発生部と、機械モデルの同定を行う場合にのみ、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号に前記M系列信号発生部の生成した信号を加算するためのスイッチとを設け、機械モデル同定部が、前記M系列信号発生部の生成した信号が加算された前記電動機が発生するトルクに相当する信号と、位置センサからの位置フィードバック値をもとに、前記機械モデルの同定を行い、パラメータとして前記共振周波数および反共振周波と、機械のイナーシャと電動機のイナーシャとの和を求めるものであることを特徴とする請求項9記載のサーボ制御装置。

【請求項11】機械と電動機を、前記機械のイナーシャおよび前記電動機のイナーシャと、前記機械のイナーシャと前記2つのイナーシャの和との比を算出するためのパラメータとを入力するパラメータ入力部と、前記機械のバネ定数の値を示すパラメータを、位置指令値あるいは位置フィードバック値に応じて設定するバネ定数設定部と、前記パラメータ入力部およびバネ定数設定部より入力された、前記各パラメータに基づいて、前記電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を求めて機械端補正定数乗算部に設定する定数計算部とを設けたことを特徴とする請求項1から請求項6のうちのいずれか1項記載のサーボ制御装置。

## 詳細な説明

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、たとえば工作機械のような、電動機で機械を動作させてその機械の軌跡を高精度に動作させるサーボ制御装置に関するものであり、特に、高速な動作が要求さ

れるサーボ制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】サーボ制御装置は、機械を指令値に追従させて正確に動作させることが目的であり、通常は電動機などのアクチュエータに取り付けられたエンコーダなどの位置センサの出力を指令値に追従させることを目標とすることにより、機械側まで制御していると見なすことが多かった。しかしながら、高速動作が要求されるにともない、機械の剛性が不十分なことに起因して、実際の目標である機械側とアクチュエータの位置とにズレが生じることがある。

【0003】図11は、たとえば特開平4-271290に示された、従来のサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。図において、1は機械、2は電動機で、それぞれ内部にその特性を表すブロックが示されており、これらは機械1と電動機2を2つのイナーシャとそのバネでモデル化した場合の表現である。また、3は位置センサ、4は位置指令値生成部、5はフィードバック補償部、6はフィードフォワード補償部であり、7は機械端補正部である。

【0004】また、 $\theta_r$  は位置指令値生成部4にて生成された位置指令値、 $\theta_l$  は機械1の位置、 $\theta_m$  は電動機2の位置、 $J_l$  は機械1のイナーシャ、 $J_m$  は電動機2のイナーシャ、 $K$  は機械1の剛性を表すバネ定数、 $c$  は機械1の粘性抵抗を表す定数、 $K_v$  は速度ループ比例ゲイン、 $K_{vi}$  は速度ループ積分ゲイン、 $K_p$  は位置ループ比例ゲイン、 $J_{0l}$  は機械1のイナーシャ $J_l$  の推定値、 $J_{0m}$  は電動機2のイナーシャ $J_m$  の推定値、 $\alpha$ 、 $\beta$  はそれぞれ機械端補正部7のパラメータ、 $s$  はラプラス演算子である。

【0005】次に、動作について説明する。機械1と電動機2からなる制御対象は、電動機2の出力トルクの指令値を入力とし、電動機2に取り付けられた位置センサ3の検出した検出値を出力とするものである。フィードバック補償部5は、位置指令値生成部4で生成された位置指令値 $\theta_r$  と、位置センサ3より出力される電動機2の位置 $\theta_m$  との差をもとにPID(比例・積分・微分)制御を行う。ただし、図に示されたフィードバック補償部5では、位置指令値 $\theta_r$  と電動機2の位置 $\theta_m$  のそれぞれの微分値を利用した構成となっているが、これは等価変換することにより上記PID制御の構成となる。

【0006】このように、制御対象である機械1および電動機2をフィードバック補償部5のみにて制御した場合には、応答の遅れのために位置指令値 $\theta_r$  への追従精度は良好ではない。そこで、フィードフォワード補償部6を追加して、 $J_{0l}=J_l$ 、 $J_{0m}=J_m$  とすることにより、電動機2と機械1の剛性が十分高い(バネ定数 $K$ が十分大きい)とした場合に、応答の遅れをなくすることができ、高精度な動作を実現できる。

【0007】しかしながら、機械1と電動機2の剛性が十分高いと見なすことができない場合には、電動機2の位置 $\theta_m$  と機械1の位置 $\theta_l$  にズレが生じ、このフィードフォワード補償器5の追加では十分な精度が得られない。そこで機械端補正部7において $\alpha=J_l/(K(J_l+J_m))$ 、 $\beta=J_m$  とし、 $c=0$  と仮定することにより、機械1と電動機2のモデルである、2つのイナーシャ $J_l$ 、 $J_m$  とそのバネのモデルの特性を完全に補償することができる。すなわち位置指令値 $\theta_r$  と機械1の位置 $\theta_l$  を完全に一致させることができ、高精度な機械1の位置制御が実現できる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】従来のサーボ制御装置は以上のように構成されているので、2つのイナーシャ $J_l$ 、 $J_m$  および機械1の剛性のバネ定数 $K$ のそれぞれの値を正確に知る必要があり、もしこれらの値の正確さが不十分であった場合には制御系の特性が大きく変動して、精度の高い位置制御が実現できないという課題があった。また、補正が複雑であり、計算時間も多く、高次の微分を必要とするため量子化誤差などの影響を受けやすいという課題もあった。

【0009】さらに、2つのイナーシャ $J_l$ 、 $J_m$ 、および機械1の剛性のバネ定数 $K$ のそれぞれの値ではなく、機械端補正部7のパラメータ $\alpha$ 、 $\beta$ の値を入力する必要がある、また、それらはすべて人手によって設定する必要があるといった課題があった。

【0010】また、機械1の剛性を表すバネ定数 $K$ の値が、機械1の位置に依存して変化する現象に対応することができないという課題があった。

【0011】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、高精度で位置制御を行うことができ、かつ簡単な構成で計算時間も少なく、さらにパラメータの変動や推定誤差があった場合でも特性が大きく変動しないロバストなサーボ制御装置を得ることを目的とする。

【0012】また、この発明は、パラメータとして理解しやすいものを入力することによって、高精度の位置制御が実現でき、初期設定時やパラメータ変動時には、自動的にパラメータのチューニングを行うことができるサーボ制御装置を得ることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】この発明に係るサーボ制御装置は、位置指令値生成部から出力された位置指令値をもとに、フィードバック制御およびフィードフォワード制御を行うことによって電動機の発生するトルクを制御し、その電動機の発生するトルクあるいは当該トルクに相当する信号を定数倍して位置指令値に加算するようにしたものである。

【0014】また、この発明に係るサーボ制御装置は、電動機が発生するトルクに相当する信号として、フィードバック補償部の生成するフィードバックトルク指令値と、フィードフォワード補償部の生成するフィードフォワードトルク指令値とを加算したトルクあるいはそれに相当する目標値を用いたものである。

【0015】また、この発明に係るサーボ制御装置は、電動機が発生するトルクに相当する信号として、電動機に流れる電流の測定を行う電流センサの測定値を用いたものである。

【0016】また、この発明に係るサーボ制御装置は、電動機が発生するトルクに相当する信号として、フィードフォワード補償部の生成するフィードフォワードトルク指令値を用いたものである。

【0017】また、この発明に係るサーボ制御装置は、機械および電動機のモデルが摩擦のモデルを含むものである。

【0018】また、この発明に係るサーボ制御装置は、電動機が発生するトルクに相当する信号に、摩擦のモデルから生成されたトルク指令値を含めないようにしたものである。

【0019】また、この発明に係るサーボ制御装置は、電動機と機械を、機械と電動機それぞれのイナーシャと、その間のバネによってモデル化した場合の機械のバネ定数の値を示すパラメータと、機械のイナーシャと上記2つのイナーシャの和との比を算出するためのパラメータとをパラメータ入力部より入力し、機械端補正定数乗算部にて電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算される定数の値を、定数計算部においてパラメータ入力部より入力されたパラメータに基づいて決定するようにしたものである。

【0020】また、この発明に係るサーボ制御装置は、イナーシャ同定部を設けて、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と、位置フィードバック値とをもとに、機械と電動機の2つのイナーシャの和を同定し、機械端補正定数乗算部において電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算される定数の値を、その同定結果をもとに定数計算部で決定するようにしたものである。

【0021】また、この発明に係るサーボ制御装置は、機械モデルで同定部を設けて、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と、位置フィードバック値とをもとに機械モデルを同定し、機械のバネ定数の値を示すパラメータと、機械のイナーシャと機械および電動機の両イナーシャの和との比を算出するためのパラメータを求め、機械端補正定数乗算部において電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算される定数の値を、そのパラメータをもとに定数計算部で決定するようにしたものである。

【0022】また、この発明に係るサーボ制御装置は、M系列信号発生部より共振周波数以上の高周波成分を含む信号を生成して、機械モデルの同定を行う場合にのみ、それを機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号に加算し、当該加算結果と位置フィードバック値をもとに、機械モデル同定部が機械モデルを同定して、共振周波数と反共振周波数、および機械および電動機の両イナーシャの和を求めて、定数計算部に送るようにしたものである。

【0023】また、この発明に係るサーボ制御装置は、定数計算部に入力する機械の剛性を表すバネ定数に相当するパラメータを、バネ定数設定部にて機械の位置に応じて変化させて設定するようにしたものである。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1は、この発明の実施の形態1によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であ

る。図において、1は所定の軌跡にしたがって動作する機械であり、内部にはその特性を表すブロックが示されている。2はこの機械1を動作させるアクチュエータとして当該機械1に取り付けられた電動機であり、内部にはその特性を表すブロックが示されている。なお、これら電動機2と機械1は2つのイナーシャとそのバネでモデル化した場合の表現である。3はこの電動機2に取り付けられて当該電動機2の位置検出を行う、たとえばエンコーダなどによる位置センサである。なお、これらは図11に同一符号を付して示した従来のそれらに相当する部分である。

【0025】また、4は機械1を所定の軌跡上を動作させるための位置指令値を生成する位置指令値生成部である。5は少なくとも位置指令値生成部4で生成された位置指令値と、位置センサ3からの位置フィードバック値をもとに、トルクあるいはそれに相当するフィードバックトルク指令値を生成するフィードバック補償部である。6は機械1および電動機2のモデルをもとに、位置指令値生成部4で生成された位置指令値から、トルクあるいはそれに相当するフィードフォワードトルク指令値を生成するフィードフォワード補償部である。なお、これらも、図11に同一符号を付して示した従来のそれらに相当する部分である。

【0026】8はフィードバック補償部5で生成されたフィードバックトルク指令値と、フィードフォワード補償部6で生成されたフィードフォワードトルク指令値を加算したトルクあるいはそれに相当する目標値をもとに、電動機2に適切な電流を流す電流補償部である。9は電動機2が発生するトルクあるいはそれに相当する信号を定数(以下、機械端補正定数という)倍する乗算する機械端補正定数乗算部である。10はこの機械端補正定数乗算部9にて機械端補正定数倍された、電動機2が発生するトルクあるいはそれに相当する信号を、位置指令値生成部4の生成した位置指令値に加算する加算器である。

【0027】また、 $\theta_r$  は位置指令値生成部4の出力する位置指令値であり、 $\theta_l$  は機械1の位置、 $\theta_m$  は位置センサ3にて検出された電動機2の位置である。 $\tau_b$  はフィードバック補償部5の出力するフィードバックトルク指令値、 $\tau_f$  はフィードフォワード補償部6の出力するフィードフォワードトルク指令値であり、 $\tau_a$  はこれらフィードバックトルク指令値 $\tau_b$  とフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$  とを加算した全トルク指令値である。 $J_l$  は機械1のイナーシャ、 $J_m$  は電動機2のイナーシャであり、 $K$  は機械1の剛性を表すバネ定数、 $c$  は機械1の粘性抵抗を表す定数である。 $K_v$  はフィードバック補償部5における速度ループ比例ゲインであり、 $K_{vi}$  は同じく速度ループ積分ゲイン、 $K_p$  は同じく位置ループ比例ゲインである。 $J_{0l}$  は機械1のイナーシャ $J_l$  の推定値、 $J_{0m}$  は電動機2のイナーシャ $J_m$  の推定値であり、 $K_0$  は機械1のバネ定数 $K$  の推定値、 $c_0$  は機械1の粘性摩擦の推定値である。なお、 $s$  はラプラス演算子である。

【0028】ここで、図1のブロック図に示した実施の形態1のサーボ制御装置では、電動機2は全トルク指令値 $\tau_a$  通りのトルクを発生するものとしている。ただし、実際には、電流センサ(図示省略)に基づく電流フィードバックを行って電流を制御し、その電流に比例したトルクを電動機1は発生している。したがって、上記全トルク指令値 $\tau_a$  はトルク相当の電流指令値とみることでもできる。

【0029】次に動作について説明する。この実施の形態1によるサーボ制御装置においても、図11に示した従来のサーボ制御装置と基本的には同様の動作を行う。すなわち、機械1と電動機2からなる制御対象は、電動機2の発生するトルクの指令値である全トルク指令値 $\tau_a$  を入力とし、電動機2に取り付けられている位置センサ3にて検出された、当該電動機2の位置値 $\theta_m$  を出力とするものである。その際、電流補償部8は、フィードバック補償部5にて生成されたフィードバックトルク指令値 $\tau_b$  と、フィードフォワード補償部6にて生成されたフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$  を加算した全トルク指令値 $\tau_a$  をもとに、適切な電流を電動機2に流す。なお、電流補償部8は、上記全トルク指令値 $\tau_a$  に相当する目標値をもとに、電動機2に適切な電流を流すようにしてもよい。

【0030】ここで、フィードバック補償部5は、位置指令値生成部4で生成された位置指令値 $\theta_r$  と、電動機2に取り付けられた位置センサ3より出力される電動機2の位置 $\theta_m$  との差をもとに、PID(比例・積分・微分)制御を行い、位置センサ3からフィードバックされた電動機2の位置 $\theta_m$  をもとに、トルクある



いはそれに相当するフィードバックトルク指令値 $\tau_b$ を生成する。なお、この場合も、この図1に示されたフィードバック補償部5では、位置指令値 $\theta_r$ と電動機2の位置 $\theta_m$ のそれぞれの微分値を利用した構成となっているが、これは等価変換することにより上記のPID制御の構成となる。

【0031】一方、フィードフォワード補償部6では、 $J_{0l}=J_l$ 、 $J_{0m}=J_m$ とすることによって、機械1および電動機2のモデルをもとに、位置指令値生成部4で生成された位置指令値 $\theta_r$ から、トルクあるいはそれに相当するフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を生成する。したがって、フィードバック補償部5のみで制御したときのような、応答の遅れによる位置指令値 $\theta_r$ への追従精度の低下を抑制することができ、バネ定数 $K$ が十分大きく、機械1と電動機2の剛性が十分高い場合には、位置指令値 $\theta_r$ と、機械側の位置 $\theta_l$ および電動機2の位置 $\theta_m$ とを一致させることができる。なお、この実施の形態1では、フィードフォワード補償部6において、制御対象の粘性摩擦も考慮して機械1の粘性摩擦の推定値 $c_0$ の項をフィードフォワード補償部6に追加しているため、より高精度な制御が可能となる。

【0032】また、機械端補正定数乗算部9は、所定の機械端補正定数 $J_{0l}/(K_0(J_{0l}+J_{0m}))$ を、電動機2が発生するトルクに相当する信号としての全トルク指令値 $\tau_a$ に乗算し、その演算結果を加算器10に送出する。加算器10では位置指令値生成部4の出力する位置指令値 $\theta_r$ に、この機械端補正定数乗算部9によって機械端補正定数 $J_{0l}/(K_0(J_{0l}+J_{0m}))$ 倍された全トルク指令値 $\tau_a$ を加算し、機械1の位置 $\theta_l$ が位置指令値生成部4からの位置指令値 $\theta_r$ に追従するように補正する。定性的には、全トルク指令値 $\tau_a$ に $J_{0l}/(J_{0l}+J_{0m})$ を乗じることでバネ部に加わっているトルクを計算するとともに、 $1/K_0$ を乗じることでバネの伸縮量を計算し、その計算結果に応じて位置指令値 $\theta_r$ を補正して、機械1の位置 $\theta_l$ を位置指令値生成部4からの位置指令値 $\theta_r$ に追従させている。

【0033】このように、この実施の形態1によれば、トルクの定数(機械端補正定数)倍という単純な操作によって位置指令の補正を実現しているため、電動機2の発生するトルクによって機械1の剛性に相当するバネが伸縮する量だけ、電動機2への位置指令値を補正することができ、高精度で機械1の位置を制御することが可能となり、かつ、その構成が簡単で計算時間も少なくなる。また、たとえ制御対象パラメータの推定値 $K_0$ 、 $J_{0l}$ 、 $J_{0m}$ が、実際の値 $K$ 、 $J_l$ 、 $J_m$ の値と異なった場合でも、単に補正量が比例倍で変化するのみの影響しか現れず、パラメータに変動や推定誤差があっても特性が大きく変動することはなく、パラメータの変動や推定誤差にロバストなサーボ制御装置を実現することができるという効果が得られる。

【0034】実施の形態2. なお、上記実施の形態1では、電動機2が発生するトルクに相当する信号として、フィードバックトルク指令値 $\tau_b$ とフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を加算した全トルク指令値 $\tau_a$ を用い、それを定数(機械端補正定数)倍して位置指令値 $\theta_r$ に加算する場合について説明したが、当該電動機2が発生するトルクに相当する信号を、電動機2の電流を検出する電流センサの電流測定値としてもよい。すなわち、電流センサを設けて電動機2を流れる電流を測定し、当該電流センサによって検出された電流測定値から求めた電動機2の出力するトルクに比例する値に、機械端補正定数乗算部9で機械端補正定数を乗算して、位置指令値生成部4の出力する位置指令値 $\theta_r$ に加算する。このようにすることで、上記実施の形態1の場合と同様の効果が得られる。

【0035】実施の形態3. また、上記実施の形態1においては、フィードバック補償部5の生成するフィードバックトルク指令値 $\tau_b$ と、フィードフォワード補償部6の生成するフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ とを加算した全トルク指令値 $\tau_a$ を、電動機2が発生するトルクに相当する信号としたものについて説明したが、フィードフォワード補償部6の生成するフィードフォワードトルク指令値を $\tau_f$ 、その電動機2が発生するトルクに相当する信号としてもよい。図2はそのようなこの発明の実施の形態3によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、各部には、図1の相当部分と同一記号を付してその説明を省略する。

【0036】この実施の形態3では、フィードバックトルク指令値 $\tau_b$ とフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を加算した全トルク指令値 $\tau_a$ の代わりに、フィードフォワード補償部6より出力されるフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ のみが機械端補正値乗算部9に送られている。機械端補正値乗算部9ではこのフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ に機械端補正定数を乗算して加算器10に送り、位置指令値生成部4からの位置指令値 $\theta_r$ にそれを加算することにより、位置指令値 $\theta_r$ の補正を行っている。フィードフォワード補償器6のパラメータを調整し、フィードフォワードが良好に行われている場合、フィードバックトルク指令値 $\tau_b$ はほぼ0と見なすことができる。

【0037】したがって、この実施の形態3においても、フィードフォワード補償器6のパラメータがほぼ正確な場合には、電動機2が発生するトルクに相当する信号としてフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を用いても、全トルク指令値 $\tau_a$ を用いた場合とほぼ同様の効果を得ることができる。

【0038】次に、この実施の形態3を用いて、従来のサーボ制御装置と比較したこの発明のロバスト性を、図3および図4に示すボード線図を用いて確認する。簡単のため、ここでは、 $c=c_0=K_{vi}=0$ とする。ここで、図2に示すサーボ制御装置において、フィードフォワード補償器5および機械端補正値乗算部9を用いないとすると、位置指令値 $\theta_r$ から機械1の位置 $\theta_l$ までの伝達関数は、次に示す式(1)で表される。

【0039】

【数1】

$$G_1(S) = \frac{1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (1)$$

【0040】これに加えて、フィードフォワード補償器5を用いると、位置指令値 $\theta_r$ から機械1の位置 $\theta_l$ までの伝達関数は、次の式(2)に示すものとなる。

【0041】

【数2】

$$G_2(S) = \frac{\frac{J_{0m} + J_{0l}}{K_v K_p} S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (2)$$

【0042】さらに、機械端補正値乗算部9を用いると、位置指令値 $\theta_r$ から機械1の位置 $\theta_l$ までの伝達関数は、次の式(3)に示すものとなる。

【0043】

【数3】

$$G_3(S) = \frac{\left( \frac{J_{0m} + J_{0l}}{K_v K_p} + \frac{J_{0l}}{K_0} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1}{\frac{J_m J_l}{K K_v K_p} S^4 + \frac{J_l}{K K_p} S^3 + \left( \frac{J_m + J_l}{K_v K_p} + \frac{J_l}{K} \right) S^2 + \frac{1}{K_p} S + 1} \quad \dots (3)$$

【0044】また、図11に示す従来のサーボ制御装置における機械端補正部7(ただし、 $\alpha = J_l / (K(J_l + J_m))$ 、 $\beta = J_m$ )を用いた場合、位置指令値 $\theta_r$ から機械1の位置 $\theta_l$ までの伝達関数は、次に示す式(4)で表される。

【0045】

【数4】

$$G_4(S) = \frac{\frac{J_{0m}J_{0l}}{K_0K_vK_p}S^4 + \frac{J_{0l}}{K_0K_p}S^3 + \left(\frac{J_{0m}+J_{0l}}{K_vK_p} + \frac{J_{0l}}{K_0}\right)S^2 + \frac{1}{K_p}S + 1}{\frac{J_mJ_l}{KK_vK_p}S^4 + \frac{J_l}{KK_p}S^3 + \left(\frac{J_m+J_l}{K_vK_p} + \frac{J_l}{K}\right)S^2 + \frac{1}{K_p}S + 1} \quad \dots (4)$$

【0046】ここで、図3は、 $J_l = 0.5$ 、 $J_m = 0.5$ 、 $K_p = 30$ 、 $K_v = 200$ 、 $K = 600 * 600 * J_l * J_m / (J_l + J_m)$ 、 $J_{0l} = J_l$ 、 $J_{0m} = J_m$ とし、 $K_0 = K$ の場合と $K_0 = 1.5K$ の場合の両方について、上記式(3)に基づいて描いたボード線図である。図において、21は $K_0 = K$ の場合のゲイン線図、22は $K_0 = 1.5K$ の場合のゲイン線図、23は $K_0 = K$ の場合の位相線図、24は $K_0 = 1.5K$ の場合の位相線図であり、図示のように、各ゲイン線図21と22、および各位相線図23と24はそれぞれ重なっている。このように、パラメータ $K$ が1.5倍ずれた正確な値でなくても、補正の正確さはズレの分だけ劣化するが、周波数応答としてはほとんど特性が変わらないといえる。

【0047】図4は、図3と同一の条件で式(4)に基づいて描いたボード線図である。図において、25は $K_0 = K$ の場合のゲイン線図、26は $K_0 = 1.5K$ の場合のゲイン線図、27は $K_0 = K$ の場合の位相線図、28は $K_0 = 1.5K$ の場合の位相線図である。図からわかるように、パラメータ $K$ が1.5倍ずれることにより、周波数特性が大きく変動していることがわかる。これら図3と図4とを比較することにより、パラメータ変動によるロバスト性としては、この発明の方式が優位であるといえる。

【0048】実施の形態4. また、上記実施の形態3においては、機械1および電動機2のモデルとして、摩擦のモデルを含まないものを示したが、摩擦のモデルを含む機械1および電動機2のモデルに適用することも可能である。図5はそのようなこの発明の実施の形態4によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、各部には、図2の相当部分と同一記号を付してその説明を省略する。なお、 $F$ は機械1に加わるクーロン摩擦値であり、フィードフォワード補償部6内の $F_0$ は、当該フィードフォワード補償部6にてその機械1に加わるクーロン摩擦値 $F$ を補償するための摩擦補償パラメータである。また、 $\text{sgn}(\cdot)$ は引数が正の時は1、負の時は-1、0の時は0となる符号関数を示している。

【0049】この実施の形態4におけるフィードフォワード補償部6は、上記摩擦補償パラメータ $F_0$ と符号関数 $\text{sgn}(\cdot)$ を用いて、機械1に加わるクーロン摩擦値 $F$ を補償し、得られたトルク指令値を、機械1の粘性摩擦の推定値 $c_0$ の項を用いて制御対象の粘性摩擦も考慮して求めたトルク指令値にさらに加算して、フィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を生成している。このようにして摩擦補償されたフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を加算器10に送り、位置指令値生成部4の生成した位置指令値 $\theta_r$ の補正を行っている。したがって、この実施の形態4によれば、指令値の速度の符号反転時においてフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ にステップ状の変化が生じるため、位置指令値 $\theta_r$ の補正もステップ状の補正となる。これは、すなわち機械1の剛性と摩擦の大きさによって生じるバックラッシュの補正を行っていることになる。

【0050】実施の形態5. なお、上記実施の形態4では、摩擦のモデルから生成されたトルク指令を、電動機2が発生するトルクに相当する信号に含めたものについて説明したが、電動機2が発生するトルクに相当する信号が、摩擦のモデルから生成されたトルク指令を含まないようにしてもよい。図6はそのようなこの発明の実施の形態5によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、相当部分には図5と同一記号を付してその説明を省略する。

【0051】図6に示すように、この実施の形態5においては、フィードフォワード補償部6の出力するフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ には、摩擦のモデルからの摩擦補償パラメータ $F_0$ と符号関数 $\text{sgn}(\cdot)$ を用いた摩擦補償を含めているが、機械端補正定数乗算部9に送る電動機2が発生するトルクに相当する信号としては、その摩擦のモデルからのトルク指令値を含まない、粘性摩擦を考慮して求めたトルク指令値のみとしている。位置指令値生成部4からの位置指令値 $\theta_r$ の補正は、この摩擦のモデルからのトルク指令値を含まない電動機2が発生するトルクに相当する信号を、機械端補正定数倍したものを加算することによって行われる。機械1にがたつきが存在する場合などのように、バックラッシュの補正を別途設定する必要がある場合には、このように、摩擦補償の項を含めずに位置指令値 $\theta_r$ の補正を行うことが有効となる。

【0052】実施の形態6. なお、上記各実施の形態においては、電動機2が発生するトルクに相当する信号に乗算する機械端補正定数が固定的であったが、当該機械端補正定数を変更可能とすることもできる。図7はそのようなこの発明の実施の形態6によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、相当部分には図1と同一符号を付してその説明を省略する。

【0053】図において、11は機械1のイナーシャおよび電動機2のイナーシャと、その間のバネとによって、機械1と電動機2をモデル化した場合の、機械1のバネ定数 $K_0$ の値を示すパラメータ、および機械1のイナーシャ $J_{01}$ と、機械1のイナーシャ $J_{01}$ と電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ の和である全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ との比を算出するためのパラメータを入力するパラメータ入力部である。12はこのパラメータ入力部11から入力されるパラメータに基づいて、電動機1の発生するトルクに相当する信号に乗算する機械端補正定数の値を求め、それを機械端補正定数乗算部9に設定する定数計算部である。

【0054】この実施の形態6においては、図7に示すように、パラメータ入力部11からは機械1の剛性を示すバネ定数 $K_0$ とともに、機械1のイナーシャ $J_{01}$ と全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ との比を算出するためのパラメータとして、全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ と電動機のイナーシャ $J_{0m}$ とが入力される。定数計算部12はこれら全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ 、電動機のイナーシャ $J_{0m}$ および機械1のバネ定数 $K_0$ を受け取ると、それらの値を用いて、電動機1の発生するトルクに相当する信号(この実施の形態6においては全トルク指令値 $\tau_a$ )に乘算される機械端補正定数の値 $J_{01} / (K_0 (J_{01} + J_{0m}))$ を計算し、それを機械端補正定数乗算部9に設定する。

【0055】以下、実施の形態1の場合と同様に動作して、機械端補正定数乗算部9は、フィードバックトルク指令値 $\tau_b$ とフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を加算した全トルク指令値 $\tau_a$ に、この定数計算部12より設定された機械端補正定数を乗算して加算器10に送り、位置指令値生成部4の生成した位置指令値 $\theta_r$ の補正を行う。

【0056】このように、この実施の形態6によれば、機械1の設計時においても大まかなパラメータの値が推測でき、また明らかに特定のパラメータのみが変化した場合でも、ユーザは電動機2が発生するトルクに相当する信号に乗算する機械端補正定数の値を意識することなく、当該機械端補正定数の変更を容易に行うことができるという効果が得られる。

【0057】実施の形態7. 図8はこの発明の実施の形態7によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、相当部分には図7と同一符号を付してその説明を省略する。ここで、この実施の形態7は機械1のイナーシャのみが変化するような制御対象の制御に適用して有効なサーボ制御装置を想定している。

【0058】図において、13は機械1が動作中であるときに電動機2が発生するトルクに相当する信号(全トルク指令値 $\tau_a$ )と、位置センサ3より出力される位置フィードバック値(電動機2の位置 $\theta_m$ )をもとに、機械1のイナーシャ $J_{01}$ と電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ との和である全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ を同定するイナーシャ同定部である。また、パラメータ入力部11はパラメータとして、機械1のバネ定数 $K_0$ と電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ の入力を行っている点で、図7に同一符号を付したものと異なっている。また、定数計算部12は、機械端補正定数乗算部9が全トルク指令値 $\tau_a$ に乗算するための機械端補正定数の値を、イナーシャ同定部13において同定された全イナーシャ $J_{01} + J_{0m}$ と、パラメータ入力部1

1から入力された機械1のバネ定数 $K_0$ 、および電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ とに基づいて求めるものである点で、図7に同一符号を付したものと異なっている。

【0059】この実施の形態7においては、図8に示すように、パラメータ入力部11からは機械1の剛性を示すバネ定数 $K_0$ と、電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ の2種類のパラメータが入力される。一方、機械1のイナーシャ $J_{0l}$ と電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ の和である全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ を示すパラメータは、制御対象である機械1および電動機2の入出力である全トルク指令値 $\tau_a$ と電動機1の位置 $\theta_m$ のデータをもとに、イナーシャ同定部13において同定され、同定された全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ は定数計算部12に入力される。定数計算部12ではこのイナーシャ同定部13からの全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ と、パラメータ入力部11からの電動機2のイナーシャ $J_{0m}$ およびバネ定数 $K_0$ を受け取ると、それらをもとに全トルク指令値 $\tau_a$ に乘算するための機械端補正定数を計算して機械端補正定数乗算部9に設定する。機械端補正定数乗算部9はその機械端補正定数を、位置指令値生成部4の生成した位置指令値 $\theta_r$ に乘算してそれを補正する。

【0060】ここで、たとえば、工作機械に質量の大きなワークが搭載される場合など、機械のイナーシャ $J_{0l}$ のみが変化して、パラメータの中のイナーシャ同定部13にて同定された全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ が変化することは頻繁に起こりうる。この実施の形態7は、このような機械のイナーシャ $J_{0l}$ のみが変化するような制御対象の制御を行う場合に有効である。また、イナーシャ同定部13で同定を行う場合、全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ は全トルク指令値 $\tau_a$ の周波数成分が比較的低周波の場合でも、たとえば通常の加減速動作中のデータからでも同定が容易なパラメータとなっており、比較的単純な同定アルゴリズムを用いても、実用的に十分なパラメータの同定を行うことができる。

【0061】実施の形態8. なお、上記実施の形態6においては、パラメータ入力部11より入力されたパラメータを用いて、機械端補正定数の計算を行うものについて示したが、機械モデルの同定によって得られたパラメータを用いて、機械端補正定数の計算を行うようにしてもよい。図9はそのようなこの発明の実施の形態8によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、相当部分には図7と同一符号を付してその説明を省略する。

【0062】図において、14は機械1が動作中であるときに、電動機2が発生するトルクに相当する信号と位置センサ3からの位置フィードバック値をもとに、機械モデルの同定を行い、機械1のバネ定数 $K_0$ の値を示すパラメータ、および機械1のイナーシャ $J_{0l}$ と全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ との比を算出するためのパラメータを求める機械モデル同定部である。また、 $\omega_i$ は反共振周波数、 $\omega_r$ は共振周波数であり、この機械モデル同定部14からは上記パラメータとして、当該反共振周波数 $\omega_i$ および共振周波数 $\omega_r$ と、全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ とが出力される。15は共振周波数 $\omega_r$ 以上の高周波成分を含むM系列信号を生成するM系列信号発生部であり、16は機械モデル同定部14にて機械モデルの同定を行う場合にのみ、このM系列信号発生部15の生成したM系列信号を、機械1が動作中であるときに電動機2が発生するトルクに相当する信号に加算するためのスイッチである。

【0063】なお、定数計算部12は機械モデル同定部14による機械モデルの同定によって得られた反共振周波数 $\omega_i$ 、共振周波数 $\omega_r$ 、および全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ に基づいて、電動機2の発生するトルクに相当する信号に乘算する機械端補正定数を求めて機械端補正定数乗算部9に設定するものである点で、図7に同一符号を付して示したものと異なっている。

【0064】この実施の形態8においては、機械モデル同定部14にて、機械1が動作中の電動機2が発生するトルクに相当する信号(全トルク指令値 $\tau_a$ )と、位置センサ3からの位置フィードバック値(電動機2の位置 $\theta_m$ )をもとに、機械1のバネ定数 $K_0$ の値を示すパラメータ、および機械1のイナーシャ $J_{0l}$ と全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ との比を算出するためのパラメータとしての、反共振周波数 $\omega_i$ 、共振周波数 $\omega_r$ 、および全イナーシャ $J_{0l} + J_{0m}$ の値を同定する。この機械モデル同定部14における機械モデルの同定のためには、共振周波数 $\omega_r$ 以上の周波数成分を持つ信号を電動機2(制御対象)に入力する必

要がある。M系列信号発生部15はその高周波成分を含んだM系列信号を生成し、スイッチ16はこのM系列信号発生部15の出力するM系列信号を、機械モデルの同定を行う場合にのみ全トルク指令値 $\tau_a$ に加算する。

【0065】なお、これら反共振周波数 $\omega_i$ 、共振周波数 $\omega_r$ 、全イナーシャ $J_{0i}+J_{0m}$ の値の同定は、具体的にはこれまでに提案されている公知の手法を用いて行うことが可能である。たとえば、反共振周波数 $\omega_i$ および共振周波数 $\omega_r$ については、ボード線図を制御対象への入出力から求め、カーブフィッティングを行うことによって、その値を求めることが可能である。また、全イナーシャ $J_{0i}+J_{0m}$ の値は実施の形態7の場合と同様に求めることができる。

【0066】ここで、反共振周波数 $\omega_i$ 、共振周波数 $\omega_r$ と、機械のイナーシャ $J_{0i}$ 、電動機のイナーシャ $J_{0m}$ 、バネ定数 $K_0$ との関係は、次の式(5)および式(6)で与えられる。

【0067】

【数5】

$$\omega_i = \sqrt{K_0 \frac{1}{J_{0i}}} \quad \dots (5)$$

$$\omega_r = \sqrt{K_0 \frac{J_{0m}+J_{0i}}{J_{0m}J_{0i}}} \quad \dots (6)$$

【0068】したがって、全イナーシャ $J_{0i}+J_{0m}$ の値も同定できれば、定数計算部12はそれらの値を用いて、機械端補正定数の値 $J_{0i}/(K_0(J_{0i}+J_{0m}))$ を計算し、それを機械端補正定数乗算部9に設定する。機械端補正定数乗算部9は、フィードバックトルク指令値 $\tau_b$ とフィードフォワードトルク指令値 $\tau_f$ を加算した全トルク指令値 $\tau_a$ に、この定数計算部12より設定された機械端補正定数を乗算して加算器10に送り、位置指令値生成部4の生成した位置指令値 $\theta_r$ の補正を行う。これにより、初期設定時、あるいはパラメータ変動時において、補正パラメータを自動的にチューニングすることができる。

【0069】実施の形態9. 図10はこの発明の実施の形態9によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図であり、相当部分には図7と同一符号を付してその説明を省略する。ここで、この実施の形態9ではボールネジを伝達機構とするような、機械1の位置に応じて、パラメータ、特に機械1の剛性を表すバネ定数 $K$ の値が変化する機械1の制御に用いられるサーボ制御装置を想定している。図において、17は機械1の位置(図示の例では、位置センサ3の出力する電動機2の位置 $\theta_m$ である位置フィードバック値)に応じて、機械1の剛性を表すバネ定数 $K$ の値のパラメータを生成し、それを定数計算部12に設定するバネ定数設定部であり、この場合、その内容がパラメータ入力部11から設定される表によって形成されている。

【0070】次に動作について説明する。あらかじめパラメータ入力部11より、機械1の各位置毎に、それに対応する機械1のバネ定数 $K$ の値が、バネ定数設定部17に表の形式で設定される。機械1が実際に動作する場合には、位置センサ3の出力する電動機2の位置 $\theta_m$ がこのバネ定数設定部17に入力され、バネ定数設定部17からはそれに対応したバネ定数 $K_0$ が定数計算部12に送られる。たとえば、機械1がボールネジを用いたものである場合には、単純な例としては、機械1のバネ定数は、機械1の可動部が電動機2から離れるほど小さくなり、近づくほど大きくなる。このような機械1においては、この実施の形態9によるサーボ制御装置を用いることにより、機械1の実際の特性にあった機械端補正が実現でき、機械1の位置制御の精度向上がはかれる。

【0071】なお、上記説明では、機械1の位置のとして電動機2に取り付けられた位置センサ3の出力(位置フィードバック値)を用いたものを示したが、機械1の位置と電動機2の位置は、機械1のバネ定数 $K$ の変化という意味では、ほぼ同一の値と見なすことができるため、位置センサ3の出力を用いても、特に問題は生じない。また、その意味では、位置指令値生成部4の出力する位置指令値を用いても同様の効果が得られる。



【0072】さらに、上記説明では、バネ定数設定部17として、パラメータ入力部11よりその内容が設定される表を用いてバネ定数Kを設定するものについて説明したが、所定の式、たとえば機械1の位置の一次関数として機械1のバネ定数Kを計算する式を用いてバネ定数Kを設定するものであってもよい。なお、この式としては、機械1の構造に応じて、二次式、三角関数を用いた式等、いろいろなものが考えられる。

【0073】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、位置指令値生成部から出力された位置指令値をもとに、フィードバック制御およびフィードフォワード制御を行うことによって電動機の発生するトルクを制御する制御系において、電動機の発生するトルクあるいは当該トルクに相当する信号に所定の定数を乗算して位置指令値に加算するように構成したので、トルクの定数倍という単純な操作によって、電動機の発生するトルクによって機械の剛性に相当するバネが伸縮する量だけ電動機への位置指令を補正することができ、機械の位置を高い精度で制御することが可能となって、構成が簡単で計算時間も少なく、パラメータに変動や推定誤差があった場合でも特性が大きく変動することのない、ロバストなサーボ制御装置が得られるという効果がある。

【0074】また、この発明によれば、フィードバックトルク指令値とフィードフォワードトルク指令値を加算したトルクあるいはそれに相当する目標値を、電動機が発生するトルクに相当する信号として用いるように構成したので、それに機械端補正定数を乗算することで計算した、バネ部に加わっているトルクとバネの伸縮量に応じて補正した位置指令値に追従させることで、機械の位置をその位置指令値に容易に追従させることが可能になるという効果がある。

【0075】また、この発明によれば、電流センサの測定値を電動機が発生するトルクに相当する信号として用いることによっても、機械の位置を高精度に制御でき、ロバスト性の高いサーボ制御装置が得られるという効果がある。

【0076】また、この発明によれば、フィードフォワードトルク指令値を電動機が発生するトルクに相当する信号として用いることによっても、フィードフォワードが良好に行われていれば、フィードバックトルク指令値とフィードフォワードトルク指令値の和を用いた場合と同等の効果を得ることができる。

【0077】また、この発明によれば、摩擦のモデルを含むように構成したので、機械の剛性と摩擦の大きさによるバックラッシュを補正することが可能になるという効果がある。

【0078】また、この発明によれば、摩擦のモデルから生成されたトルク指令値を、電動機が発生するトルクに相当する信号に含めないように構成したので、機械にがたつきがある場合など、バックラッシュの補正を別途設定する必要がある場合に適用して有効なサーボ制御装置が得られるという効果がある。

【0079】また、この発明によれば、電動機と機械をそれぞれのイナーシャとバネにてモデル化した場合の、バネ定数の値と、機械のイナーシャと電動機、機械双方のイナーシャの和との比を算出するためのパラメータを入力し、電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算される定数の値を決定するように構成したので、機械設計時においても大まかなパラメータの値が推測でき、また明らかに特定のパラメータのみが変化した場合でも、電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算される定数の値を意識することなく、その値の変更を容易に行うことができるという効果がある。

【0080】また、この発明によれば、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と位置フィードバック値とをもとに、機械と電動機の双方のイナーシャの和を同定し、その同定結果から、電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を決定するように構成したので、機械のイナーシャのみが変化するような制御対象の制御を行う場合に適用して有効なサーボ制御装置が得られるという効果がある。

【0081】また、この発明によれば、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号と位置フィードバック値をもとに、機械のバネ定数を示すパラメータと、機械のイナーシャと機械および電動機双方のイナーシャの和との比を算出するためのパラメータを同定し、その同定結果から、電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を決定するように構成したので、初期設定時やパラメータ変動時に、自動的に補正パラメータを適切な値にチューニングすることのできるサーボ制御装置が得られるという効果がある。

【0082】また、この発明によれば、機械モデルの同定を行う場合にのみ、共振周波数以上の高周波成分を含むM系列信号を、機械が動作中の電動機が発生するトルクに相当する信号に加算し、その



加算結果と位置フィードバック値をもとに、機械モデル同定部が機械モデルの同定を行い、共振周波数、反共振周波数、および機械と電動機の双方のイナーシャの和をパラメータとして、電動機が発生するトルクに相当する信号に乗算する定数の値を決定するように構成したので、初期設定時やパラメータ変動時には、適切な補正パラメータの値を自動的に設定することが可能になるという効果がある。

【0083】また、この発明によれば、機械の剛性を表すバネ定数の値に相当するパラメータを、機械の位置に応じて変化させて設定できるため、ボールネジの剛性などの機械の位置によるパラメータの変化に対しても、精度を劣化させることなく対応することが可能になるという効果がある。

## 図の説明

### 【図面の簡単な説明】

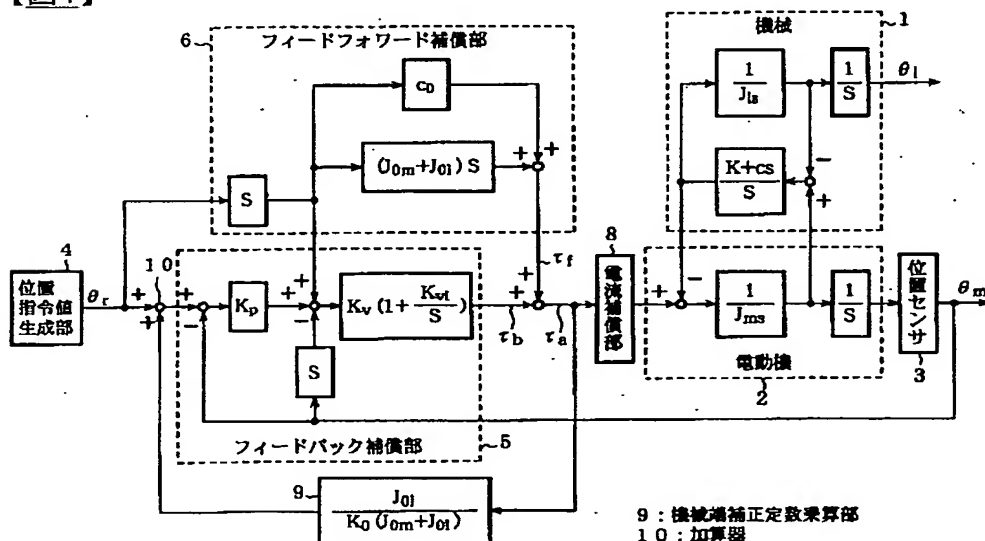
- 【図1】この発明の実施の形態1によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図2】この発明の実施の形態3によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図3】この発明によるサーボ制御装置のロバスト性を示すためのボード線図である。  
 【図4】従来のサーボ制御装置のロバスト性のなさを示すためのボード線図である。  
 【図5】この発明の実施の形態4によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図6】この発明の実施の形態5によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図7】この発明の実施の形態6によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図8】この発明の実施の形態7によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図9】この発明の実施の形態8によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図10】この発明の実施の形態9によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図11】従来のサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

### 【符号の説明】

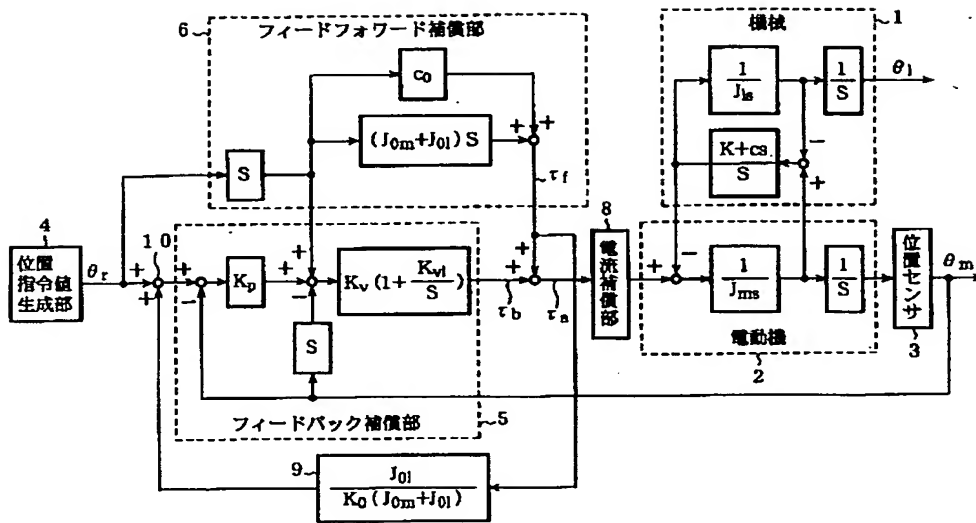
1 機械、2 電動機、3 位置センサ、4 位置指令値生成部、5 フィードバック補償部、6 フィードフォワード補償部、8 電流補償部、9 機械端補正定数乗算部、10 加算器、11 パラメータ入力部、12 定数計算部、13 イナーシャ同定部、14 機械モデル同定部、15 M系列信号発生部、16 スイッチ、17 バネ定数設定部。

## 図面

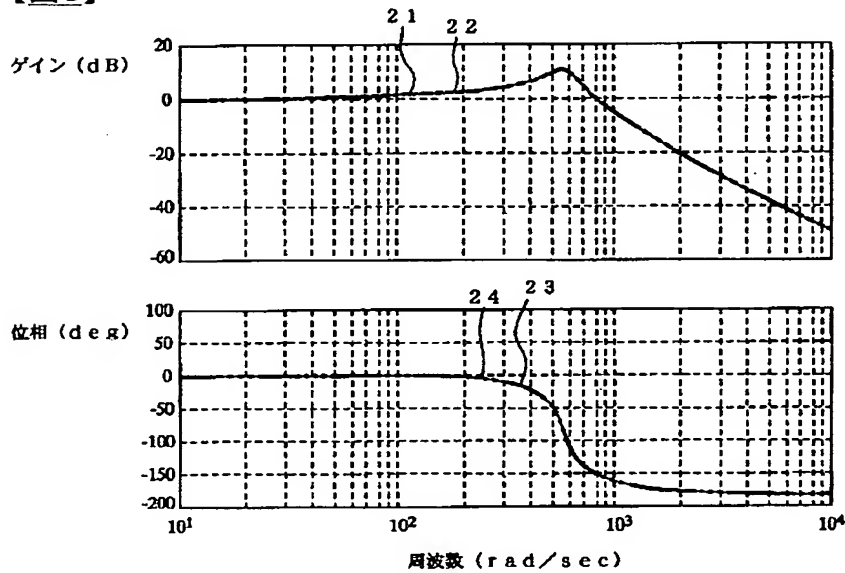
### 【図1】



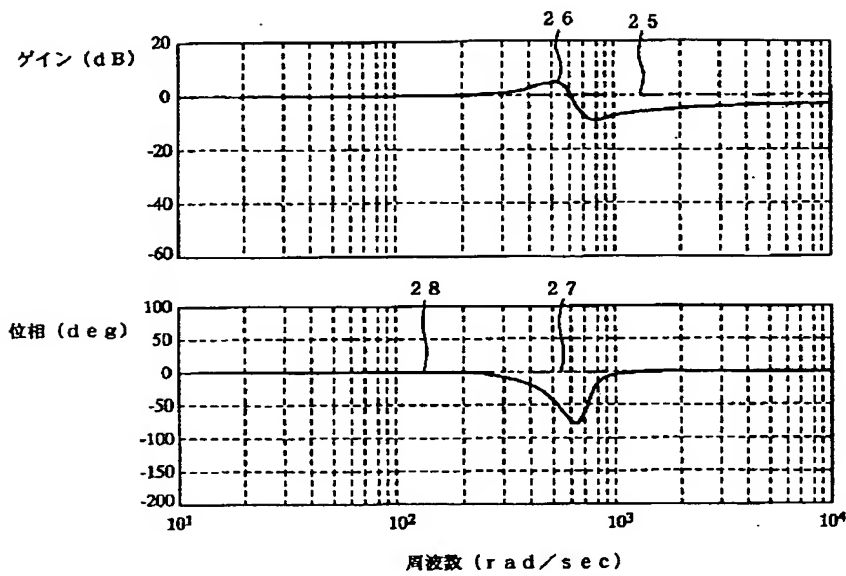
### 【図2】



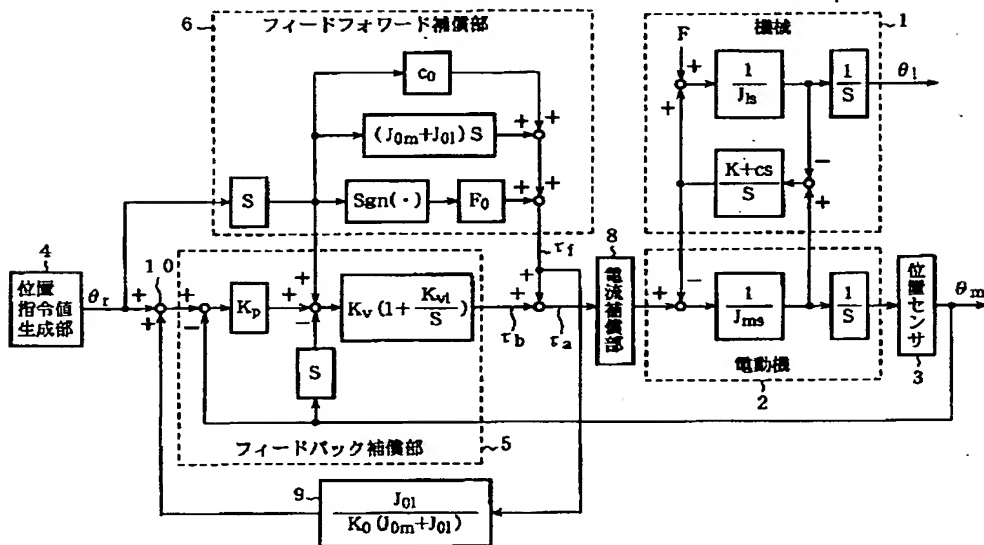
【図3】



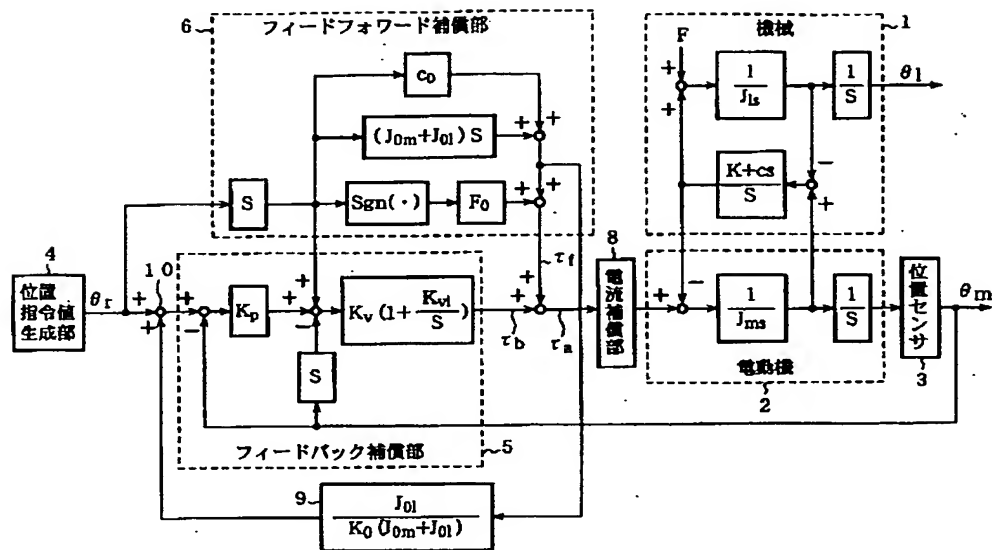
【図4】



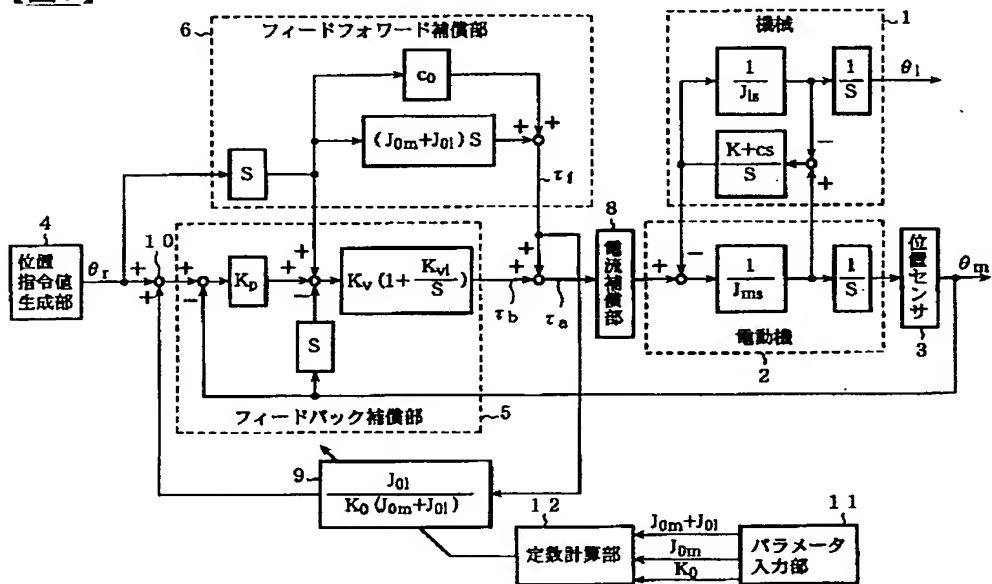
【図5】



【図6】

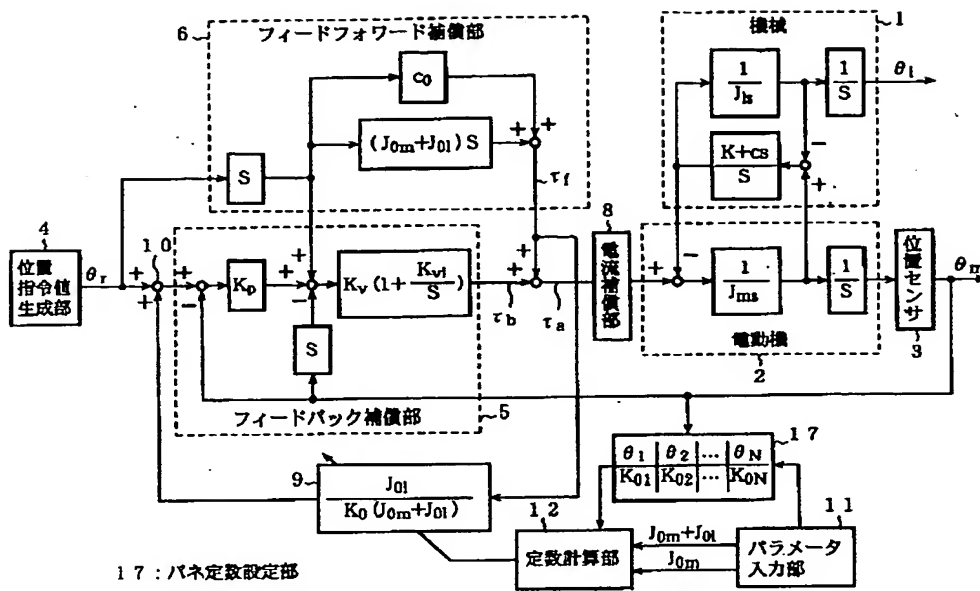


【図7】



【図8】





【図11】

